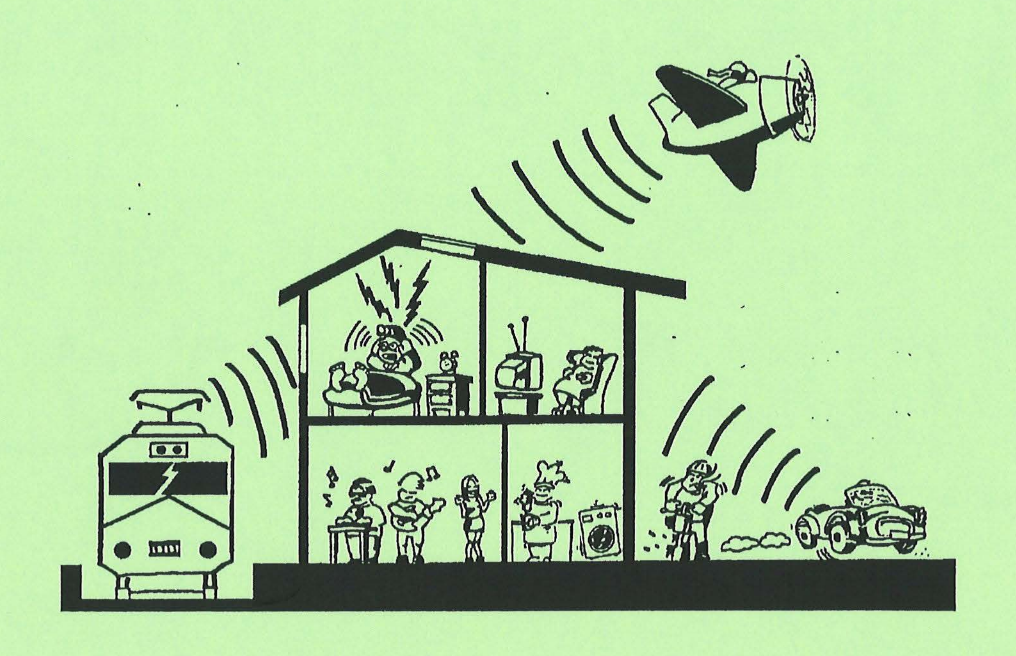
EL AISLAMIENTO ACÚSTICO (III)

por

CÉSAR DÍAZ SANCHIDRIÁN



CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

3-51-12

EL AISLAMIENTO ACÚSTICO (III)

por

CÉSAR DÍAZ SANCHIDRIÁN

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

3-51-12

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA

NUMERACIÓN

2 Área
51 Autor
09 Ordinal de cuaderno (del autor)

0 VARIOS
1 ESTRUCTURAS
2 CONSTRUCCIÓN
3 FÍSICA Y MATEMÁTICAS
4 TEORÍA
5 GEOMETRÍA Y DIBUJO
6 PROYECTOS
7 URBANISMO
8 RESTAURACIÓN

I ***El aislamiento acústico (III)***

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Gestiòn y portada : Nadia Soddu.
CUADERNO 297.01 / 3-51-12
ISBN: 978-84-9728-320-5 (obra completa)
ISBN-13: 978-84-9728-323-6
Depósito Legal: M- 5049-2010

ÍNDICE

6.- AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MULTIHOJAS

6.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se han expuesto diferentes expresiones que permiten calcular el índice de reducción acústica de sistemas constructivos de una hoja, tales como paneles, paredes y forjados. En general, los requerimientos normativos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos, no se pueden cumplir con sistemas constructivos de una hoja. En este capítulo se analizará el aislamiento acústico a ruido aéreo de sistemas constructivos de dos o más hojas homogéneas.

En el tema anterior se demostró que para incrementar el índice de reducción acústica de un sistema constructivo homogéneo de una hoja en 6 dB, en una banda de frecuencia, era necesario doblar la masa del mismo. Puede esperarse que utilizando sistemas dobles separados por una cámara de aire o con un material poroso en su interior, el índice de reducción acústica del sistema sea mayor.

Para que el sistema doble muestre un mayor índice de reducción acústica que un sistema de una hoja de igual masa, es necesario elegir los espesores de los materiales de forma adecuada y colocarlos correctamente a una determinad distancia entre ellos.

El índice de reducción acústica del sistema de dos hojas depende del acoplamiento mecánico entre las hojas, las masas de las mismas, la profundidad de la cámara y la existencia o no de material absorbente acústico en la misma, la forma de montaje, tipo de uniones, etc. El acoplamiento mecánico entre las dos hojas puede realizarse de muy diferentes formas. Las hojas pueden ser ligeras tales como paneles de madera, yeso laminado, vidrio, etc. o de hojas pesadas tales como paredes de ladrillo, hormigón, etc., o combinaciones de elementos pesados con revestimientos ligeros.

La casuística puede ser muy variada, por lo que es difícil el poder dar unas expresiones generales que permitan obtener de forma fiable el índice de reducción acústica de sistemas multihojas. En este tema se analizarán algunos de los casos más habituales en la construcción.

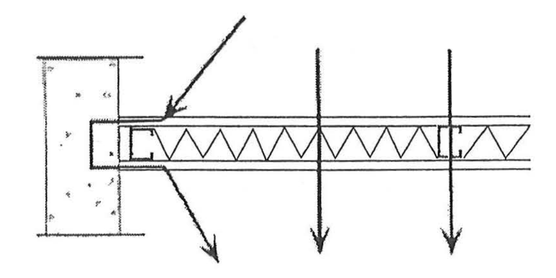


Figura 6.1: Caminos de transmisión acústica en una pared doble ligera con uniones rígidas.

6.2 EL ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE DOS HOJAS.

Un sistema constructivo de dos hojas sin conexiones mecánicas está constituido por dos hojas simples separadas por un espacio, relleno o no de material absorbente. Cuando las ondas sonoras emitidas en el recinto emisor inciden sobre la primera hoja, esta se excita y transmite al aire situado en la cavidad entre hojas su estado de vibración, que a continuación incide sobre la segunda hoja, y esta a su vez transmite energía sonora al recinto receptor.

Los factores más importantes a tener en cuenta en el índice de reducción acústica en particiones dobles son los siguientes: las masas de cada una de las hojas, las frecuencias críticas de las mismas, la frecuencia de resonancia del sistema, las frecuencias de resonancia de la cavidad, las conexiones entre las hojas, forma de montaje, etc.

- *Frecuencias críticas de las hojas*

Hay que evitar que las dos hojas tengan la misma frecuencia crítica, si esto ocurre la partición doble presentará un importante defecto de aislamiento en la banda de frecuencia donde se encuentran las frecuencias críticas de las hojas.

- *Frecuencia de resonancia del sistema o frecuencia masa-aire-masa*

Una partición doble sin material absorbente en la cavidad se comporta como un sistema mecánico masa-muelle-masa. El sistema tiene una frecuencia de resonancia, que cuando las ondas que inciden proceden de un campo sonoro difuso, se puede calcular mediante la expresión:

$$f_{m-a-m} = \frac{1.34}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho_0 c_0^2}{d}\left(\frac{1}{m_1^{'}}+\frac{1}{m_2^{'}}\right)} \quad Hz \qquad (6.1)$$

que en forma aproximada se puede escribir

$$f_{m-a-m} = 80\sqrt{\frac{1}{d}\left(\frac{1}{m_1^{'}}+\frac{1}{m_2^{'}}\right)} \qquad (6.2)$$

d es la separación entre las dos hojas en metros, m'_1 y m'_2 son las masas superficiales de las paredes en kg/m^2. El valor de la frecuencia de resonancia disminuye cuando aumenta la masa de las hojas o /y la distancia entre ellas.

El índice de reducción acústica del sistema doble disminuye en el rango de frecuencias alrededor del valor de la frecuencia de resonancia masa-aire-masa, como analizaremos posteriormente en el caso de vidrios.

Si la frecuencia del sonido incidente es mayor que la frecuencia de resonancia del sistema, el aislamiento de la partición doble es mejor que el de una partición simple de la misma masa. En la práctica hay que lograr que la frecuencia de resonancia del

sistema esté por debajo de las frecuencias de interés, $f_{m\text{-}a\text{-}m} < 70$ Hz. La mejora del índice de reducción acústica de sistemas dobles comienza de forma aproximada una octava por encima de la frecuencia $f_{m\text{-}a\text{-}m}$.

En paredes dobles constituidas por hojas de fábrica de mampostería, ladrillos, etc. la frecuencia de resonancia del sistema es siempre inferior a 70 Hz, siempre que la cámara sea de aire y la separación entre las hojas sea superior a un centímetro. En el caso de paredes dobles ligeras la distancia entre las hojas debe ser mucho mayor que en el caso anterior.

- Frecuencias de resonancia de la cavidad

En la cámara de aire existente entre las dos hojas, las ondas sonoras se propagan y se reflejan sobre las caras internas de las mismas y se originan ondas estacionarias. A los valores de las frecuencias de resonancia de la cavidad la presión sonora en la misma aumenta y se transmite más sonido por las hojas de la partición, en consecuencia el índice de reducción acústica del sistema disminuye.

Para ondas planas que se propagan en dirección normal a la partición, las frecuencias de resonancia de la cavidad se obtienen mediante la expresión:

$$d = n\frac{\lambda}{2} \quad ; \quad \lambda = \frac{2d}{n}$$
$$f_{rc} = \frac{c}{\lambda} = \frac{c.n}{2d} = \frac{170.n}{d} \qquad (6.3)$$

n = 1,2,3,.. , d en m. En general, únicamente las frecuencias de resonancia de la cavidad para los valores n = 1 y 2 son perjudiciales para el aislamiento del sistema doble. Hay que lograr que las frecuencias de resonancia de la cavidad superen los 4.000 Hz.

- Influencia de la colocación de material absorbente en la cavidad

La colocación de material absorbente en la cavidad modifica el acoplamiento acústico entre las dos hojas de la partición. Cuando en la cavidad se coloca material absorbente disminuye la frecuencia de resonancia del sistema aproximadamente al 70% del valor calculado para $f_{m\text{-}a\text{-}m}$. El material absorbente en la cavidad elimina la frecuencia de resonancia de la misma y aumenta el índice de reducción acústica del sistema doble.

Desde la perspectiva del aislamiento acústico no es necesario el rellenar completamente la cavidad con material absorbente. El material absorbente deberá tener una resistividad al flujo de aire mayor de 5 kPa.s/m^2, valor que cumplen la mayoría de los materiales fibrosos habituales. Se debe evitar el rellenar completamente la cámara de material absorbente poroso de alta densidad.

En las figuras 6.2 y 6.3 se muestran la influencia del material absorbente poroso en la cavidad en dos tipos de sistemas constructivos diferentes. En la figura 6.2, la muestra ensayada en laboratorio está formada por: mortero de yeso + ladrillo hueco sencillo (formato: 24,3 cm de largo, 11,2 cm de alto y 3,7 cm de espesor) + mortero de yeso + cámara de 5 cm + ladrillo hueco sencillo + mortero de yeso. En la figura 6.3 el sistema

doble está formado por paneles de yeso laminado de espesor 15 mm y cámara de ancho 48 mm.

La colocación en la cámara de materiales no porosos de células cerradas (espumas rígidas, poliestireno), reducen de forma apreciable el índice de reducción acústica del sistema doble.

En la práctica las transmisiones indirectas, las conexiones estructurales entre las hojas y la realización de las paredes dobles, limitan el aumento del índice de reducción acústica de los sistemas dobles.

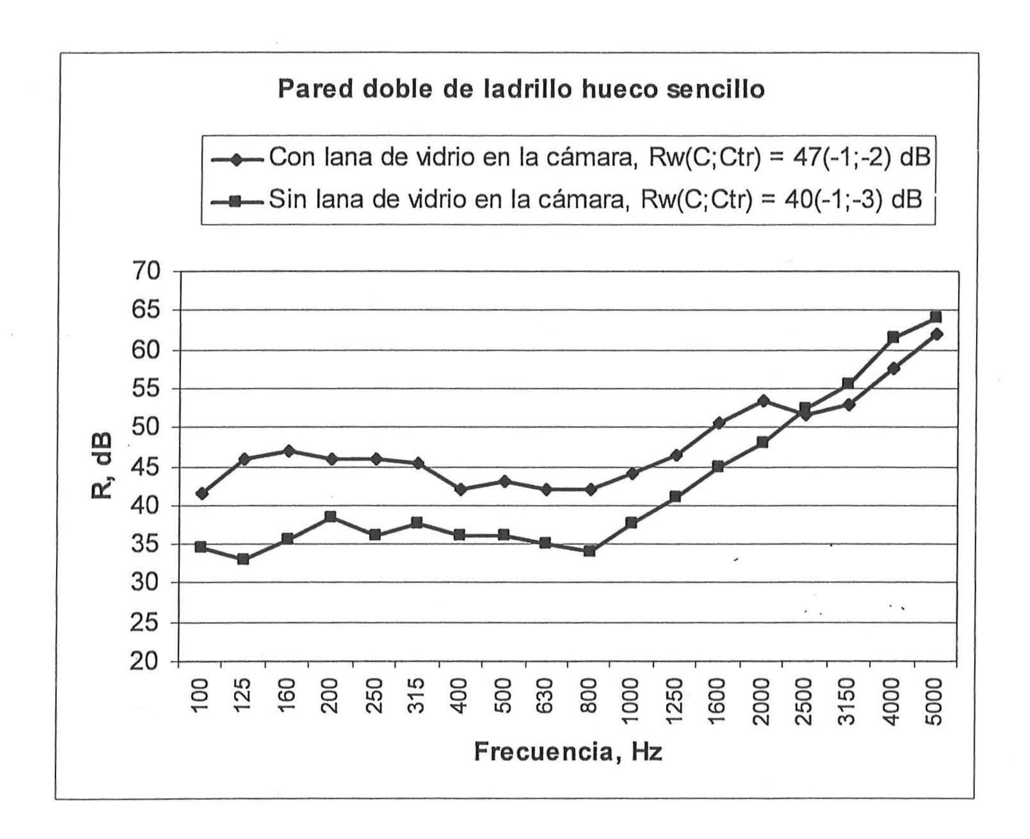


Figura 6.2: Efecto sobre el índice de reducción acústica de la introducción de material poroso en la cavidad de una pared doble de ladrillo hueco sencillo.

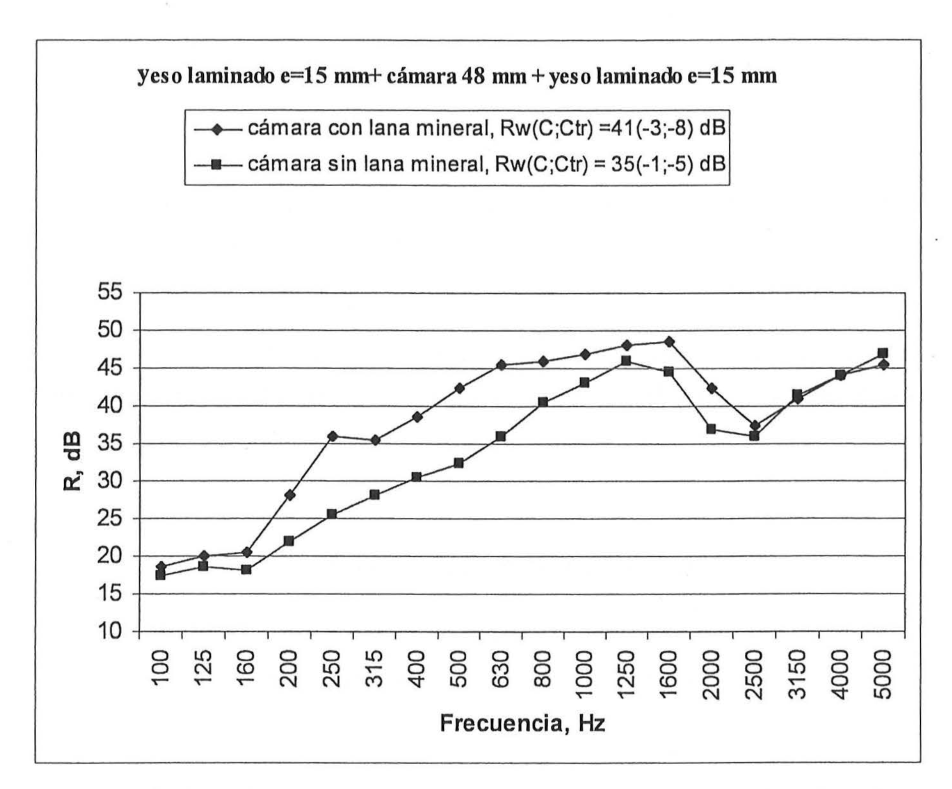


Figura 6.3: Efecto sobre el índice de reducción acústica de la introducción de material poroso en la cavidad de una pared doble de yeso laminado.

Fórmulas de Sharp de predicción del índice de reducción acústica de una partición doble ligera ilimitada, sin conexiones estructurales y con la cavidad llena de material absorbente poroso.

En el caso de una partición doble ligera formada por dos hojas de masas por unidad de superficie m'_1 y m'_2 con una distancia entre ellas de d metros y cuando las dos hojas están completamente aisladas entre si mecánica y acústicamente, Sharp [1] propuso el siguiente modelo empírico que permite calcular, de forma aproximada, el índice de reducción acústica de un sistema constructivo de dos hojas. Las ecuaciones de cálculo a utilizar son las siguientes:

$$R = 20.\lg\left[(m_1^{'} + m_2^{'})f\right] - 47\ dB \quad para\ f \langle f_{mam}$$

$$R = R_1 + R_2 + 20.\lg fd - 29\ dB \quad para\ f_{mam} \langle f \langle \frac{c}{2\pi d} \approx \frac{55}{d} \qquad (6.4)$$

$$R = R_1 + R_2 + 6 \quad dB \quad para \quad f \rangle \frac{c}{2\pi d} \approx \frac{55}{d}$$

R_1 y R_2 son los índices de reducción sonora para cada hoja medidos o calculados separadamente.

Las ecuaciones anteriores están deducidas bajo la hipótesis que las ondas estacionarias en la cavidad han sido eliminadas. Esto se consigue llenando la cavidad con materiales absorbentes acústicos porosos. En la práctica es muy difícil construir una partición doble que cumpla las predicciones de las ecuaciones anteriores.

El aumento del índice de reducción acústica es mayor cuanto menor sea el número de uniones entre los dos elementos, las uniones por puntos son más eficaces que las uniones por líneas. Cuanto más rígida sea la unión entre los paneles, menor será el índice de reducción acústica del sistema constructivo.

Para sistemas ligeros de doble hoja con absorción acústica muy ligera en la cavidad, sin conexiones estructurales entre las hojas, Brekke [2] propone la siguiente expresión del índice de reducción acústica del sistema:

$$R = R_1 + R_2 + 10.\log\frac{\alpha P d}{S} \quad dB \tag{6.5}$$

donde α es el coeficiente de absorción acústica del absorbente en el marco, P es el perímetro del marco, d la distancia entre la hojas, en metros y S, el área de la muestra, en metros cuadrados.

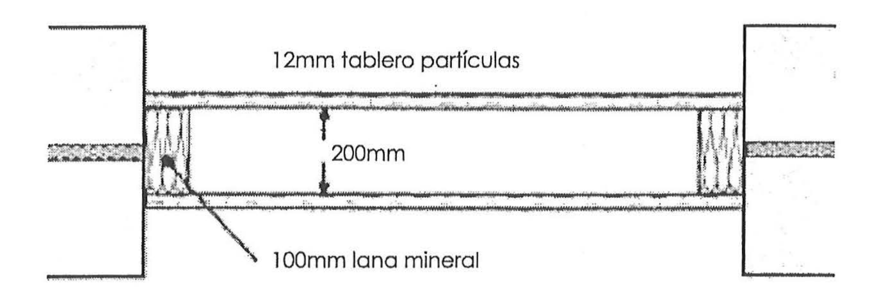


Figura 6.4: Montaje para mediciones acústicas de construcciones de doble hoja sin conexiones estructurales entre las hojas.

Efecto de las conexiones estructurales en el índice de reducción acústica de sistemas de dos hojas ligeras

La figura 6.5, se muestran los resultados experimentales obtenidos en laboratorio por Brekke. El sistema ensayado está formado por dos tableros de partículas de espesor 12 mm, separados una distancia de 95 mm, la cámara está rellena de lana mineral. El hueco de ensayo no es el normalizado, (2,15 m x 1,25 m), no hay transmisiones por flancos, y los resultados son los típicos en la práctica. Los resultados del índice de reducción acústica muestran el diferente comportamiento del sistema doble ligero, cuando no hay uniones entre las hojas y cuando hay uniones por líneas. El efecto del tipo de perfil autoportante (de acero o de madera) tiene importancia en el resultado obtenido del índice de reducción acústica del sistema, como se aprecia en la gráfica de la figura.

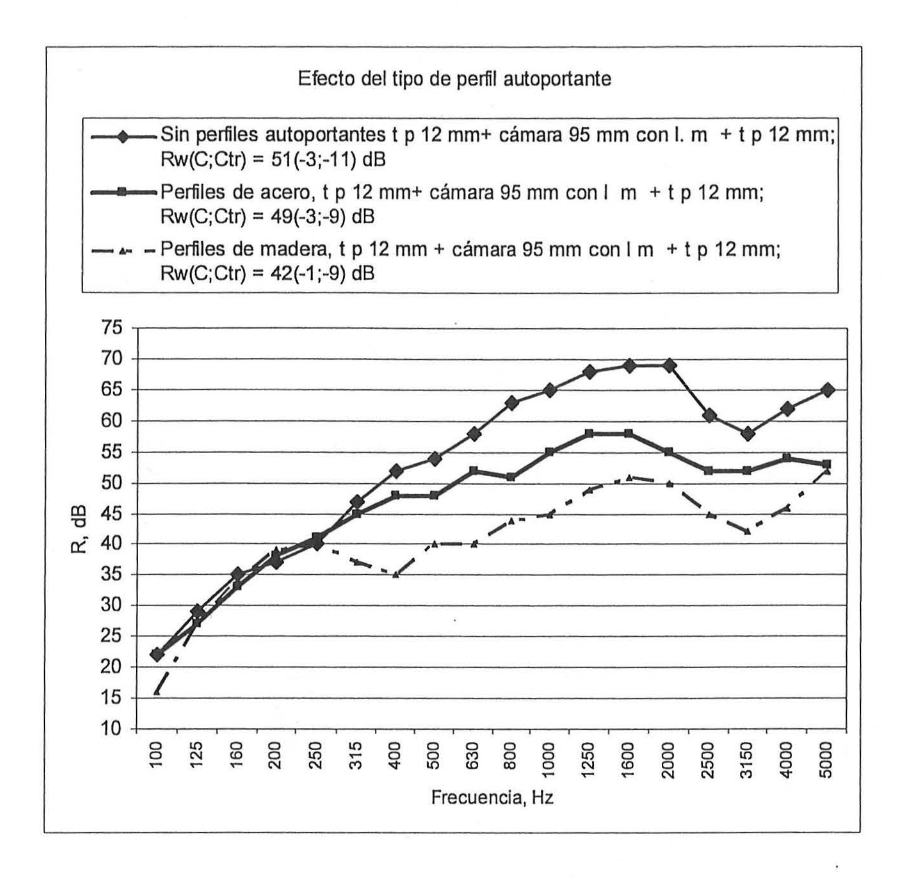


Figura 6.5: Efecto del tipo de perfil autoportante en el índice de reducción acústica de sistemas ligeros.

6.3 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE TRES HOJAS

El índice de reducción acústica de un sistema constructivo de tres hojas ligeras es generalmente mayor que el de un sistema doble de igual masa total. Sin embargo la elección de las masas de sus hojas y distancias entre ellas es más compleja, pues hay tres frecuencias críticas, dos cámaras que aportan sus frecuencias de resonancia de la cavidad y las frecuencias de resonancia del sistema masa-aire-masa-aire-masa. Se puede esperar una disminución del índice de reducción acústica del sistema en las bandas de frecuencias donde se localizan los modos normales de vibración. Los sistemas constructivos de tres hojas se utilizan en algunos casos con hojas ligeras y raramente en sistemas de hojas pesados. Para un sistema triple las frecuencias de resonancia masa-aire-masa-aire-masa pueden ser obtenidas a partir de la expresión [3],[4],[5]:

$$f_{1,2} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{3.6\rho_0 c_0^2}\sqrt{A \mp \sqrt{A^2 - B}} \quad Hz; \quad f_1 < f_2 \qquad (6.6)$$

Donde: $$A = \frac{1}{2m_2}\left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 d_1} + \frac{m_2 + m_3}{m_3 d_2}\right); \quad B = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{m_1 m_2 m_3 d_1 d_2}$$

m_1, m_2 y m_3 son las masas por unidad de superficie de las hojas, d_1 y d_2 las distancias entre las hojas. Hay que evitar que la hoja de mayor masa esté situada en la posición intermedia.

Unas ecuaciones simplificadas del índice de reducción acústica del sistema triple, propuestas por Sharp, [6] son las siguientes:

$$R = 20.\lg\left[(m_1' + m_2' + m_3')f\right] - 47\ dB \quad para\ f < f_1$$
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + 20.\lg fd_1 + 20.\lg fd_2 - 58\ dB \quad para\ f_2 < f < \frac{f_{1,cav}}{\pi} \qquad (6.7)$$
$$R = R_1 + R_2 + R_3 6 + 12 \quad dB \quad para \quad \frac{f_{1,cav}}{\pi} > f$$

donde m´$_1$, m´$_2$ y m´$_3$ son las masas por unidad de área de los paneles, (kg/m^2), y d_1 y d_2 son las distancias entre las hojas y $f_{1,cav}$ es la menor frecuencia de resonancia de las cavidades del sistema, ecuación 6.3.

Si se comparan los índices de reducción acústica de sistemas constructivos de una, dos y tres hojas, de masas no muy diferentes, se comprueba que en el rango de bajas frecuencias el comportamiento es bastante parecido. En los sistemas de una hoja el índice de reducción acústica aumenta en promedio 4 dB por octava, en los sistemas dobles 6 dB/octava y en los triples de 10 dB/ octava.

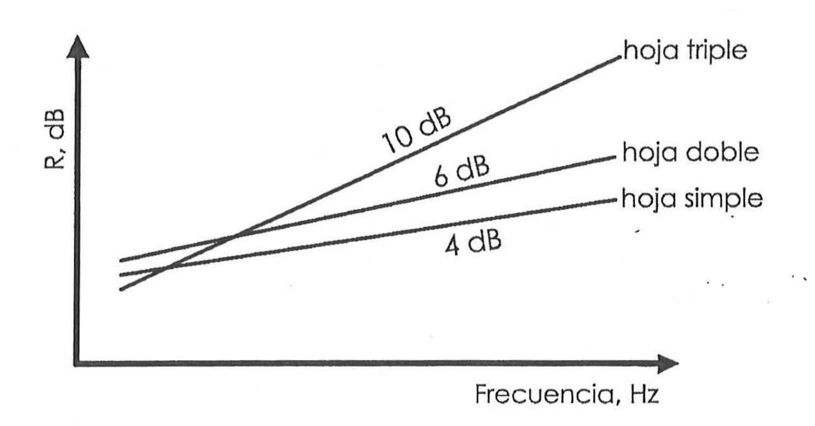


Figura 6.6: Esquema de los índices de reducción acústica de sistemas constructivos de una, dos y tres hojas.

Posteriormente se analizarán algunos casos de sistemas triples tales como sistemas autoportantes de yeso laminado, paredes de fábrica con trasdosados autoportantes de yeso laminado y ventanas con vidrios dobles y persiana bajada.

6.4 AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO DEL VIDRIO

El vidrio es un elemento fundamental en las ventanas. Ofrece muchas posibilidades de utilización combinando prestaciones y apariencias diferentes. El vidrio utilizado habitualmente en la construcción es un compuesto silico-sodo-cálcico. Su densidad es de 2500 kg/m^3. Es un material elástico (módulo de Young: E = 7,2.10^{10} Pa, módulo de elasticidad transversal: G = 2,9.10^{10} Pa; coeficiente de Poisson: ν = 0,22) y frágil.

En la edificación se suelen utilizar los siguientes tipos de vidrios:

Vidrio monolítico

Su índice de reducción acústica aumenta con el espesor del vidrio. En el intervalo de frecuencias próxima a la frecuencia crítica, el índice de aislamiento acústico disminuye de 10 a 15 dB. La frecuencia crítica del vidrio monolítico depende de forma inversamente proporcional del espesor del vidrio, h, de acuerdo con la expresión: $f_c = \frac{1280}{h\ cm}\ Hz$. Por ejemplo, un vidrio con un espesor de 4 mm su frecuencia crítica es aproximadamente 3200 Hz. Al aumentar el espesor del vidrio la frecuencia crítica se desplaza hacia las frecuencias medias. La limitación de la demanda energética del edificio no permite la utilización de vidrios sencillos en recintos habitables protegidos.

Vidrio laminado

El vidrio laminado está compuesto por dos o más vidrios unidos por material plástico, el más utilizado en la edificación y en las fachadas es el butiral de polivinilo PVB. Es un material plástico con excelentes propiedades de adherencia, transparencia y tenacidad, por lo que da lugar a vidrios que responden a las exigencias de los vidrios laminados de seguridad, sobresaliendo su resistencia a la penetración. Ofrece buenas cualidades ópticas, aumenta el índice de reducción acústica (butiral especial acústico, PVB(A)) y constituye una verdadera protección contra la radiación ultravioleta.

El índice de reducción acústica de un vidrio laminar es varios dB superior al de un vidrio monolítico del mismo espesor, sobre todo en la zona de la frecuencia crítica. Los vidrios laminares acústicos tienen mayor índice de reducción acústica que los vidrios laminares tradicionales de la misma composición. El vidrio laminar con PVB(A), prácticamente elimina el efecto de coincidencia.

La nomenclatura en los vidrios laminados es la siguiente: xx,y a: x indica el espesor de cada vidrio componente del laminar en mm; y indica el número de capas de butiral de 0,38 mm de espesor; a indica que el butiral es de tipo acústico.

Acristalamiento doble

Pueden ser vidrios monolíticos o laminados, separados por una cámara. En la utilización del acristalamiento doble, se tiene que considerar lo siguiente:

1) Las frecuencias críticas de cada uno de los vidrios. Se aconseja que desde el punto de vista del aislamiento acústico a ruido aéreo los dos vidrios sean de diferente espesor.

2) La frecuencia f_{mam} del sistema. Debe ser lo más baja posible, se consigue con vidrios gruesos y aumentando la distancia entre ellos. En la práctica, al ser la cámara de 4 a 16 mm, la frecuencia f_{mam} se sitúa en las bajas frecuencias y el índice de reducción acústica

en esa zona no es generalmente superior al de un vidrio monolítico de espesor la suma de los espesores del vidrio doble.

En la figura 6.7 siguiente se muestran las frecuencias masa-aire-masa de diferentes sistemas de vidrios dobles, obtenidos a partir de la ecuación 6.2. Se comprueba que al aumentar la distancia entre las hojas o al aumentar el espesor de los vidrios la frecuencia f_{mam} disminuye.

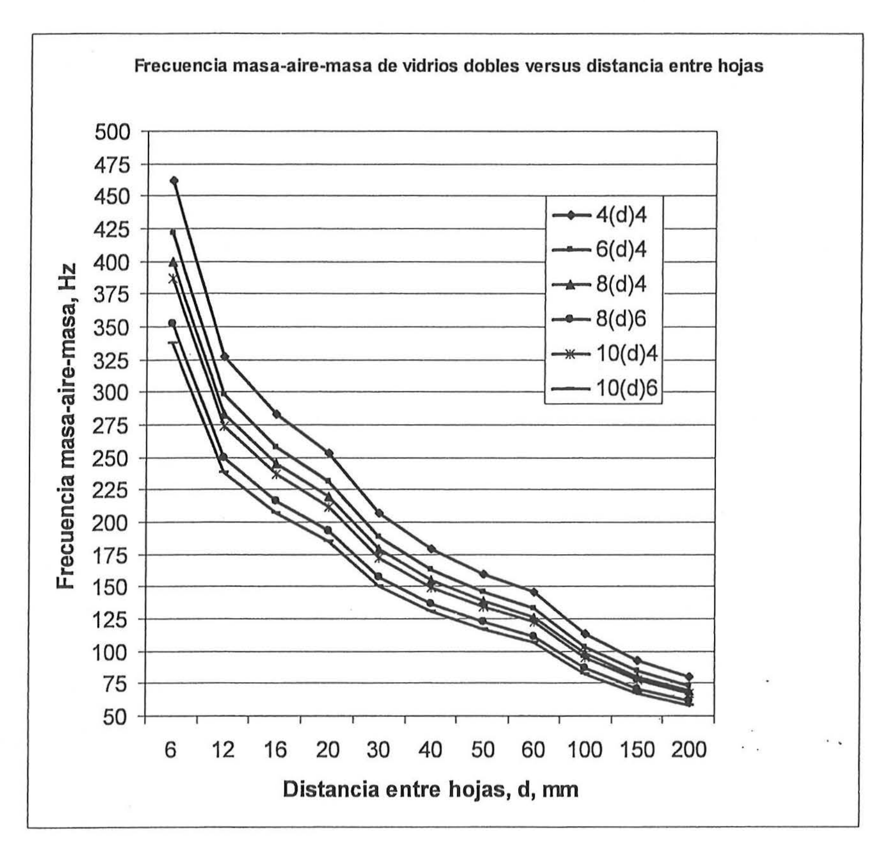


Figura 6.7: Frecuencias masa-aire-masa de diferentes sistemas de vidrios dobles en función de la distancia entre hojas.

3) Las frecuencias de resonancia de la cavidad.

El mayor índice de reducción acústica de los vidrios dobles se consigue cuando los vidrios están separados más de 20 mm y la relación de los espesores de los vidrios sea 1:2. La introducción de un gas especial, SF6, en la cámara mejora el índice de reducción acústica a medias y altas frecuencias, disminuyendo a frecuencias bajas.

El aislamiento térmico de los vidrios dobles es muy superior al proporcionado por un vidrio monolítico. Disminuye las pérdidas de energía térmica en el recinto y el efecto de la pared fría. El aumento del espesor de la cámara y la colocación de vidrios de baja emisividad aumentan de manera importante el aislamiento térmico.

En la tabla 6.1 se muestran los índices de reducción acústica de diferentes tipos de vidrio de acuerdo con la norma UNE-EN 12354-1,[7].

Tipo de vidrio	Índice de reducción acústica, R, dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	$R_w(C,C_{tr})$, dB
Vidrio sencillo, mm							
3	14	19	25	29	33	25	28(-1;-4)
4	17	20	26	32	33	26	29(-2;-3)
5	19	22	29	33	29	31	30(-1;-2)
6	18	23	30	35	27	32	31(-2;-3)
8	20	24	29	34	29	37	32(-2;-3)
10	23	26	32	31	32	39	33(-2;-3)
12	27	29	31	32	38	47	34(0;-2)
Vidrio laminado + lámina plástica (0,5-1) mm							
6 +	20	23	29	34	32	38	32(-1;-3)
8+	20	25	32	35	34	42	33(-1;-3)
10+	24	26	33	33	35	44	34(-1;-3)
Vidrio doble con vidrios sencillo o laminado, (mm), cavidad llena de aire e = (6-16) mm							
4-(6-16)-4	21	17	25	35	37	31	29(-1;-4)
6-(6-16)-4	21	20	26	38	37	39	32(-2;-4)
6-(6-16)-6	20	18	28	38	34	38	31(-1;-4)
8-(6-16)-4	22	21	28	38	40	47	33(-1;-4)
8-(6-16)-6	20	21	33	40	36	48	35(-2;-6)
10-(6-16)-4	24	21	32	37	42	43	35(-2;-5)
10-(6-16)-6	24	24	32	37	37	44	35(-1;-3)
6-(6-16)-6+	20	19	30	39	37	46	33(-2;-5)
6-(6-16)-10+	24	25	33	39	40	49	37(-1;-5)

Tabla 6.1: Índice de reducción acústica según el tipo de vidrio (UNE-EN 12354-3) [8].

También se suelen utilizar vidrios moldeados o pavés, son piezas de vidrio translucido, macizas o huecas. Los moldeados pueden ser sencillos o dobles. Se utilizan como suelos o elementos verticales.

Observación: Los ensayos del índice de reducción acústica se realizan sobre muestras de vidrios de 1,25 m por 1,5 m. Cuando las dimensiones del vidrio son mayores se reduce el valor del índice de reducción acústica. Esta cuestión se analizará en el apartado de ventanas.

EJEMPLO

Calcular las frecuencias de mayor influencia en el índice de reducción acústica de un sistema formado por vidrio doble 4(12)4 mm.

SOLUCIÓN

Se considera que los vidrios no son muy pequeños para no tener en cuenta las frecuencias de resonancia del vidrio.

- Frecuencias críticas de las hojas de vidrio: $f_c = \frac{1280}{0,4} = 3200 \quad Hz$

- Frecuencia de resonancia del sistema

  Se considera que la incidencia es aleatoria:

$$f_{mam} = 80\sqrt{\frac{1}{d}(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2})} = 80\sqrt{\frac{1}{0,012}\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{10}\right)} \approx 327 \ Hz$$

- Frecuencias de resonancia de la cavidad

Se estima que las ondas planas se propagan perpendicularmente a las dos hojas. Las ondas estacionarias se producen a unas frecuencias tales que la distancia entre las dos hojas, d, sea un múltiplo de la semilongitud de onda

$$f_{rc} = \frac{c.n}{d} = \frac{170.n}{d} \qquad n = 1, 2, 3, ...; \quad d \text{ en m}$$

n =1; f_{1rc} = 14.166 Hz

Está fuera del rango de interés en la acústica de la edificación.

En la figura 6.8 se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio del índice de reducción acústica de vidrios monolíticos de diferentes espesores. Se aprecia perfectamente el desplazamiento de la zona de coincidencia con el espesor del vidrio.

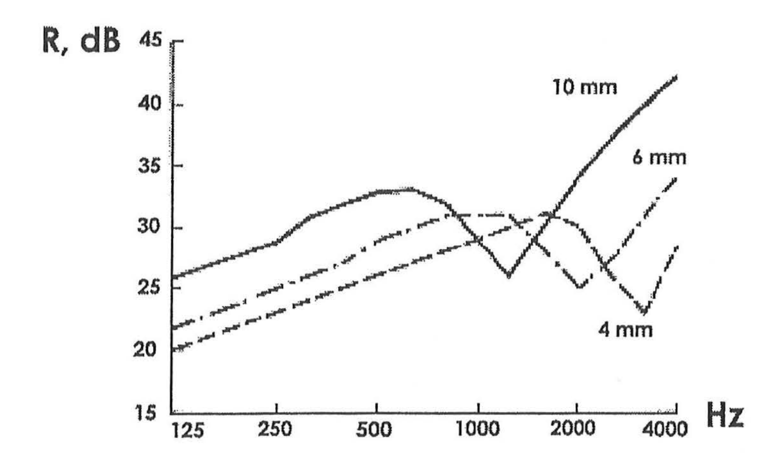


Figura 6.8: Comprobación del efecto de coincidencia en vidrios monolíticos.

En las figuras 6.9 y 6.10 se representan los ensayos del índice de reducción acústica de sistemas de vidrios dobles simétricos. La simetría de los vidrios hace que el efecto de coincidencia se presente en cada caso en la misma zona de frecuencias, con independencia de la anchura de la cámara. Por el contrario, la anchura de la cámara

influye en el valor de la frecuencia f_{mam} del sistema, cuanto menor es la anchura de la cámara mayor es el valor de esta frecuencia. Esta pérdida de aislamiento acústico en bajas frecuencias es de gran importancia en el aislamiento acústico a ruido aéreo de las ventanas ante el ruido de tráfico. En el caso de los vidrios de 4 mm, las frecuencias masa-aire-masa son: f_{mam}(6 mm) = 462 Hz; f_{mam}(12 mm) = 327 Hz; f_{mam}(16 mm) = 282,8 Hz.

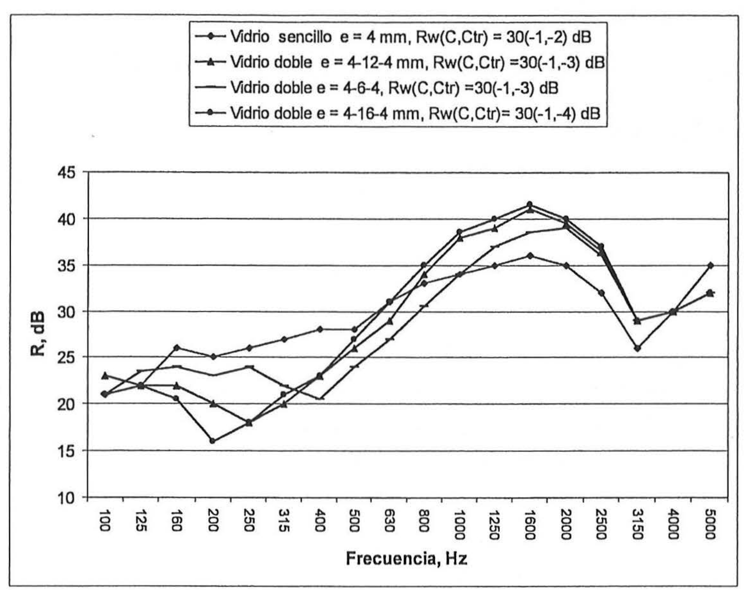


Figura 6.9: Efecto de la anchura de la cámara en el índice de reducción acústica, R, de vidrios dobles simétricos.

La figura 6.10 muestra el efecto de la anchura de la cámara de aire en un doble acristalamiento sobre los valores del Índice de reducción acústica R, dB. Cuando la cámara es amplia se minimiza el efecto de la frecuencia f_{mam} del sistema. El efecto de la anchura de la cámara sobre el índice de reducción acústica del sistema no es lineal.

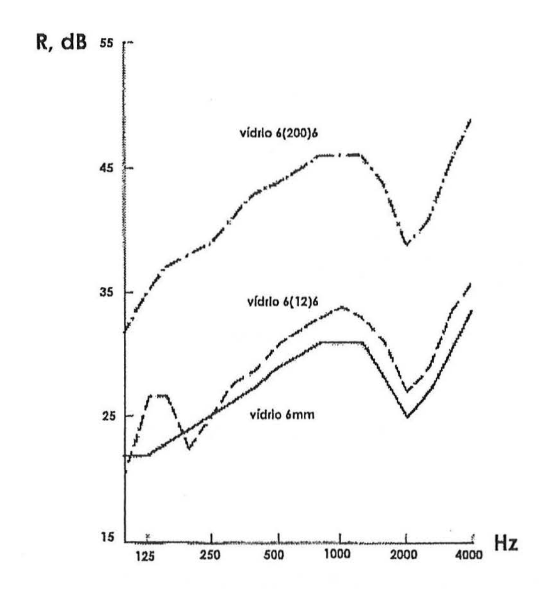


Figura 6.10: Efecto de la anchura de la cámara de aire en un doble acristalamiento sobre los valores del Índice de reducción acústica R, dB.

Las figuras 6.11 y 6.12 muestran los resultados de las mediciones del índice de reducción acústica, realizadas en laboratorio, de diversos tipos de acristalamiento.

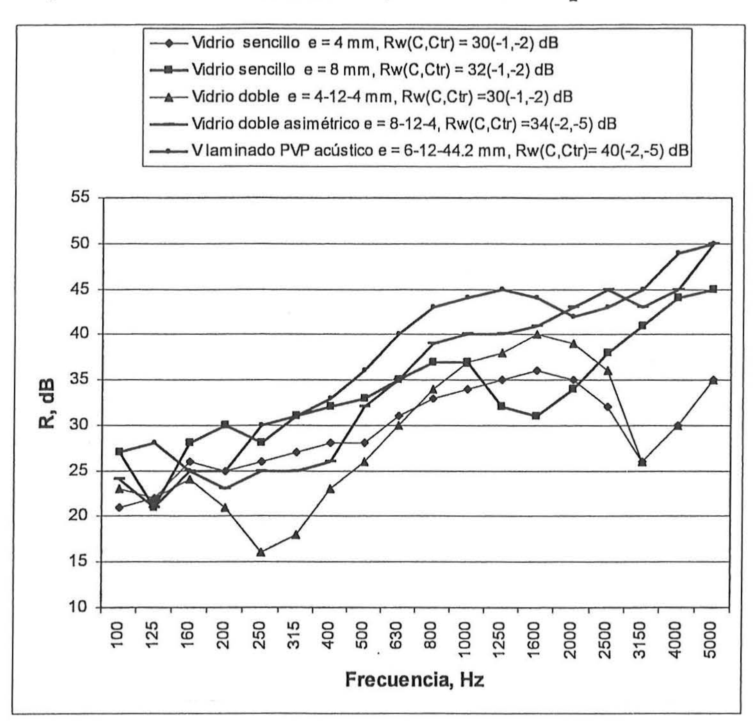


Figura 6.11: Índice de reducción acústica de vidrios usuales en la edificación.

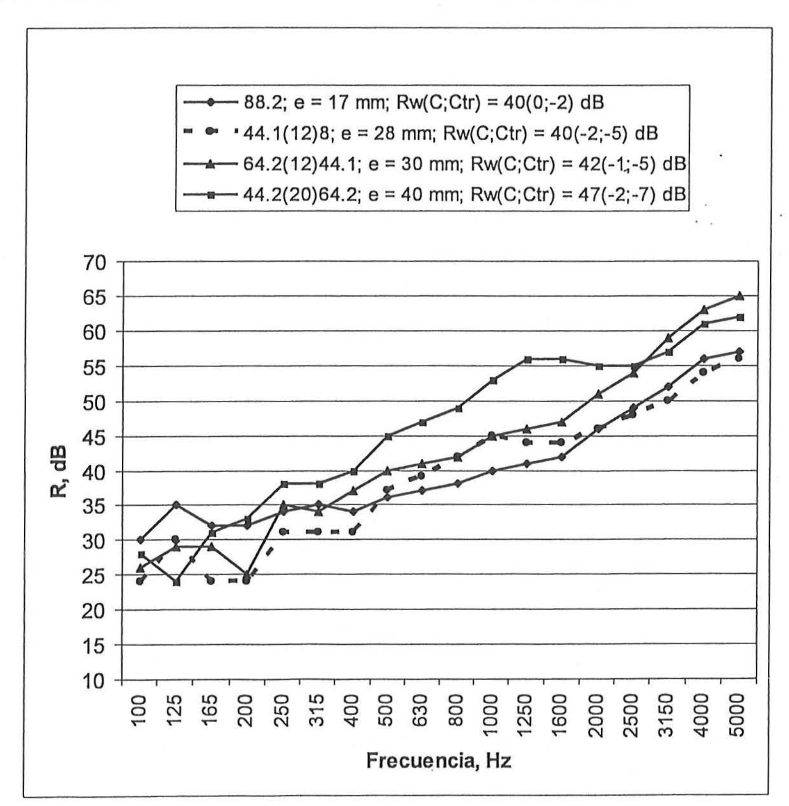


Figura 6.12: Índice de reducción acústica de diferentes tipos de acristalamiento de altas prestaciones

En la figura 6.13 se comparan los resultados del índice de reducción acústica de un vidrio laminado 33.2 con los vidrios sencillos de 3 mm y 6 mm de espesor.

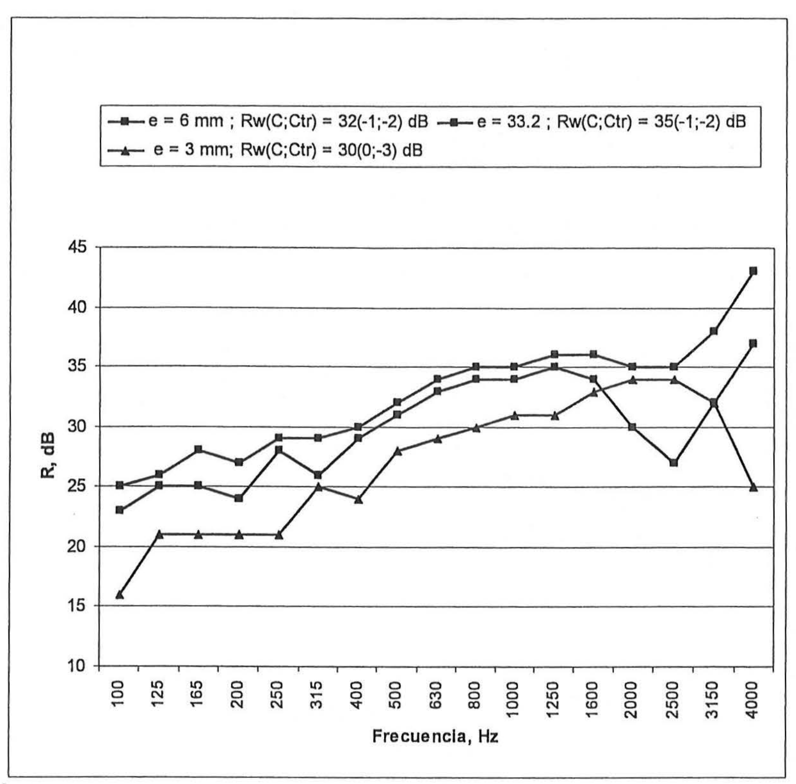
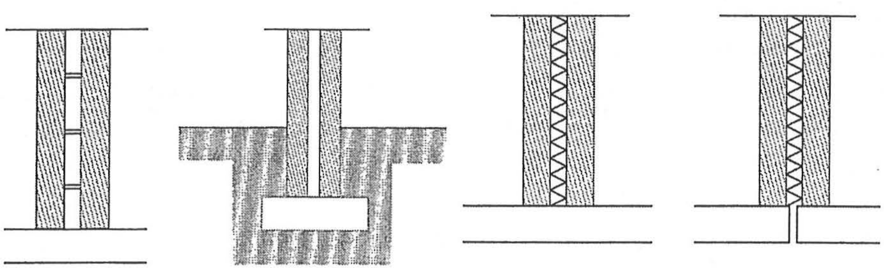


Figura 6.13: Índice de reducción acústica de vidrios sencillos versus vidrios laminados.

6.5 PAREDES DOBLES DE ALBAÑILERÍA

Un sistema común de pared doble es cuando ambas hojas son de albañilería, ladrillos u hormigón, este sistema constructivo es habitual en fachadas y en particiones interiores verticales y medianerías entre viviendas. En la práctica, en la mayoría de las situaciones las hojas están conectadas, bien por puntos mediante llaves, bien por líneas, puertas, ventanas, rebabas, o bien conectadas de forma continua por el forjado como ocurre habitualmente, o por la cimentación. Las figuras 6.14 y 6.15 muestran algunos de estos casos.

Las hojas pueden ser de muy diferentes tipos: de ladrillo cerámico (perforado o macizo), ladrillos huecos, de bloque de hormigón, bloques cerámicos, ladrillos perforados de hormigón, bloque de picón, etc. Existe una gran variedad de productos existentes en el mercado, por lo que al tener en cuenta las formas de montaje, revestimientos y las diferencias en los resultados en las mediciones acústicas del mismo sistema constructivo realizadas en los laboratorios, apartado 5.12, es conveniente, considerar los valores promedios del índice de reducción acústica ofrecidos por los diferentes laboratorios. Es habitual que los códigos de la edificación de los diferentes países publiquen periódicamente catálogos con las propiedades acústicas de los diferentes elementos constructivos. Por otra parte, aunque se conozca el índice de reducción acústica del sistema doble aislado hay que considerar las transmisiones indirectas por las paredes adyacentes entre los recintos. Este tema se tratará en un tema posterior.



Conexiones: por puntos, por la cimentación Forjados: continuos y discontinuos
Figura 6.14: Algunos tipos de conexiones entre sistemas constructivos de dos hojas.

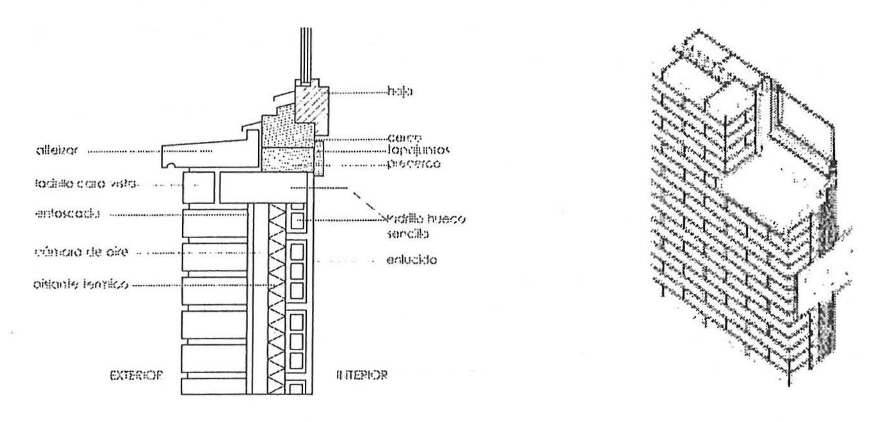


Figura 6.15: Detalle de conexiones entre hojas en una fachada “convencional”.

A veces el sistema constructivo estudiado en laboratorio no está realizado de igual forma en la práctica. Por ejemplo en muros de dos hojas, la hoja exterior y la interior están conectadas mediante llaves. Estas sirven para trabar o ligar las dos hojas, en consecuencia mejoran la estabilidad del muro, pero unen las dos hojas y el sistema se comporta acústicamente en general como un sistema de una hoja, de masa la total del sistema. Existe una gran variedad de llaves atendiendo a su forma y a su material, la figura 6.16 muestra varios ejemplos de llaves.

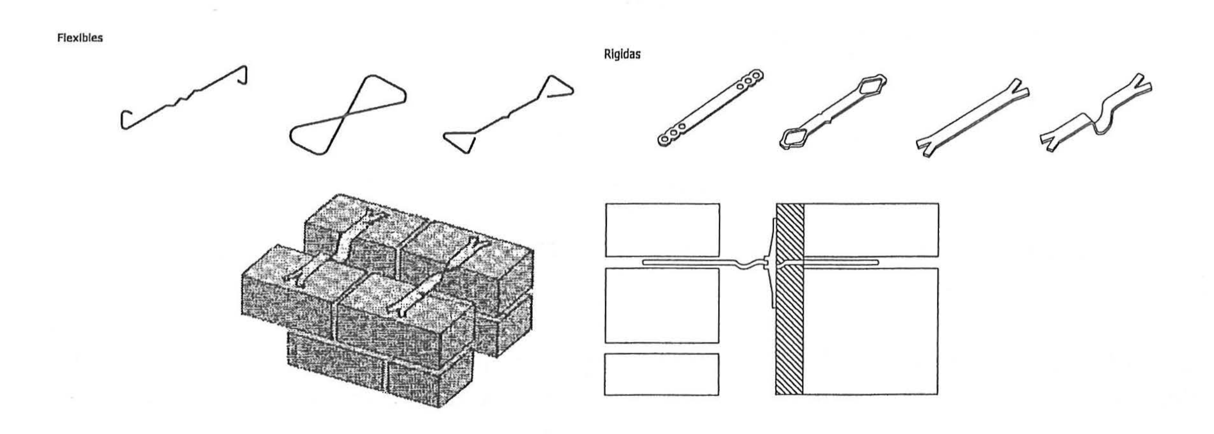


Figura 6.16: Ejemplos de llaves flexibles y rígidas.

Cuando los laboratorios dan los resultados de los ensayos de medida, siempre indican las condiciones del montaje. En particular si el sistema constructivo ha sido ensayado sobre la mismo o distinto marco estructural (junta de dilatación). A veces esta información no aparece en la información de los productos. En sistemas constructivos dobles de albañilería, las uniones del sistema con el marco estructural de las cámaras de ensayo tienen gran influencia en el resultado obtenido del índice de reducción acústica.

La figura 6.17 muestra los resultados obtenidos en laboratorio [9], de paredes de hormigón ligero de espesores 15 y 10 cm respectivamente, en diferentes situaciones. Cuando las paredes están montadas sobre el mismo marco los resultados son muy parecidos para una y dos hojas, aun cuando hay lana mineral en la cámara. Cuando las dos paredes están sobre distinto marco estructural hay un importante aumento del índice de reducción acústica. En esta última situación, cuando se colocan llaves de atado entre las hojas cada 50 cm el índice ponderado de reducción acústica se reduce en 15 dB, respecto al valor anterior.

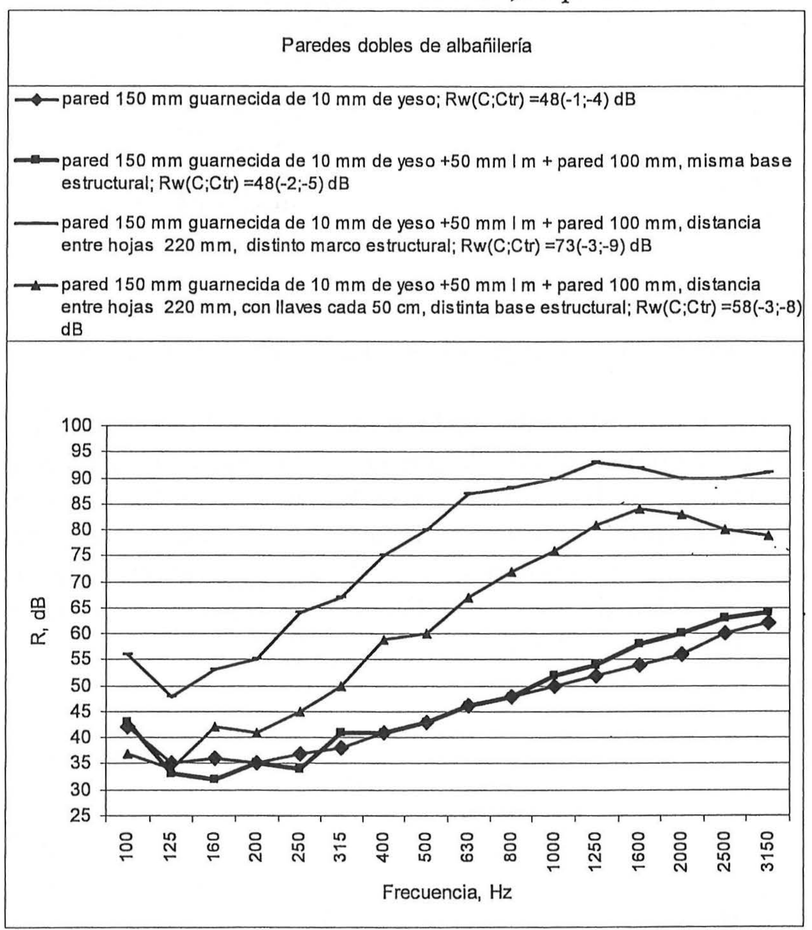


Figura 6.17: Índice de reducción acústica de paredes de hormigón ligero en diferentes situaciones experimentales.

La figura 6.18 muestra los resultados de un ensayo de laboratorio de una pared doble de albañilería habitual en la edificación española. Está constituida por pared de citara de ladrillo cerámico perforado, cámara de aire de 5 cm y tabique de ladrillo hueco sencillo, guarnecidas los paños exteriores uno con mortero de cemento y el otro con mortero de yeso. La masa por unidad de superficie es 265 kg/m^2. Los aislamientos acústicos globales a ruido aéreo en dB ponderados a son R_A = 51,7 dBA y R_{Atr} = 48,6 dBA.

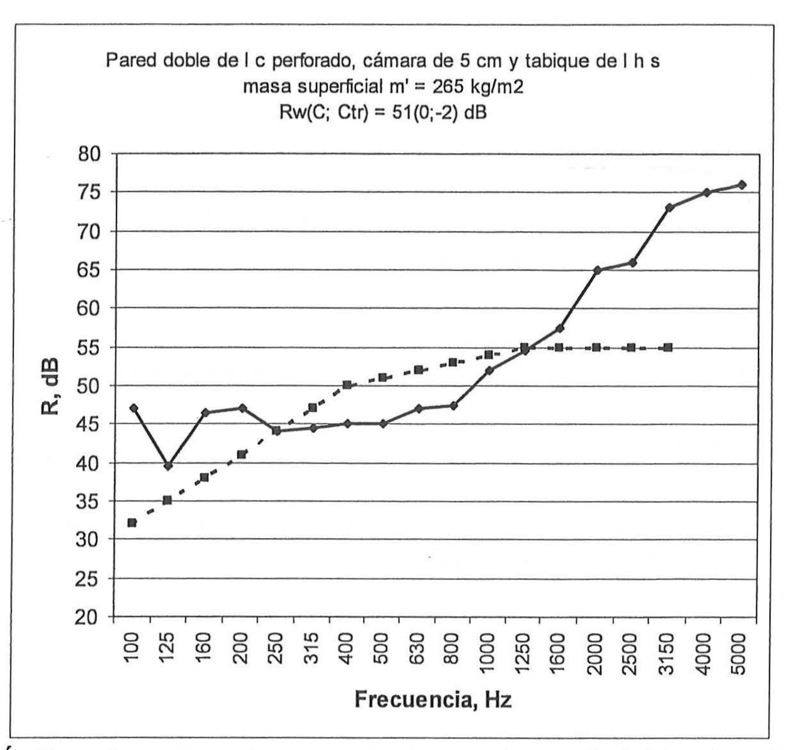


Figura 6.18: Índice de reducción acústica de una pared doble de albañilería muy habitual en la edificación española.

En la Tabla 6.2 se muestran los valores globales y del índice de reducción acústica, medidos en laboratorio, de sistemas constructivos de fábrica habituales en la edificación española con uniones rígidas en su perímetro.

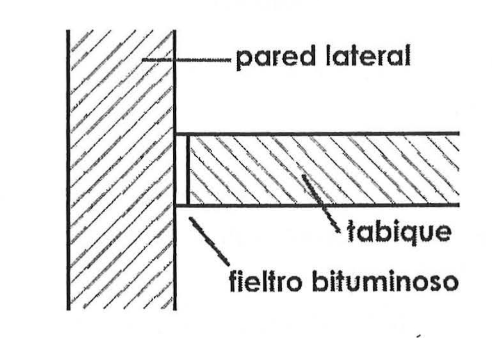
Descripción del sistema constructivo	Masa por unidad de superficie Kg/m^2	Índice de reducción acústica, R; dB Frecuencia central, Hz						Valores globales (100-5000 Hz)	
		125	250	500	1 k	2 k	4 k	R_A dBA	$R_W(C;C_{tr})$ dB
Pared de dos hojas de l h doble de espesor 80 mm, lana mineral de espesor 50 mm y tendido de yeso de 1 cm por el exterior	187	38,6	37,8	42,8	53,9	66,8	68,9	48	48(-1;-4)
Citara de l.c.p., enfoscado de 15 mm, cámara de 40 mm, ladrillo hueco sencillo. Sin lana mineral	265	44	45	46,5	51,2	63	74,5	52,4	51(0;-2)
Citara de l.c.p., enfoscado de 15 mm, cámara de 50 mm rellena de lana mineral, l h d 70 mm.	305	42,2	42,4	43,1	50,9	63	72,4	50,1	50(0;-3)
Doble partición de l c p, enfoscado de 10 mm en caras exteriores, masa por unidad de superficie 317,5 kg/m^2	317	40,1	44,0	49,2	56,6	64,2	71,0	54,3	55(-1;-5)

Tabla 6.2: Índices de reducción acústica de paredes de fábrica de dos hojas con uniones rígidas perimetrales.

6.6 PAREDES DOBLES DE ALBAÑILERÍA CON BANDAS ELÁSTICAS PERIMETRALES

Un procedimiento para mejorar el índice de reducción acústica de sistemas de paredes dobles de albañilería sin aumentar de forma excesiva la masa del sistema, consiste en la colocación de juntas perimetrales elásticas que reducen las transmisiones estructurales por flancos respecto al sistema de montaje tradicional de unión rígida.

La colocación de juntas elásticas sobre el perímetro de la partición modifica el factor de pérdidas, al cambiar la unión mecánica entre la partición y las paredes laterales, y variar las perdidas de energía en las juntas. Si el factor de pérdidas de la partición aumenta, también mejora el índice de reducción acústica de la partición. En la figura 6.19 se muestran los resultados obtenidos por Gösele en 1968 [10]. Cuando la hoja de la partición objeto de ensayo tiene una masa superior a 150 kg/m^2 la colocación de juntas elásticas en el perímetro, puede hacer disminuir el índice de reducción acústica de la partición.



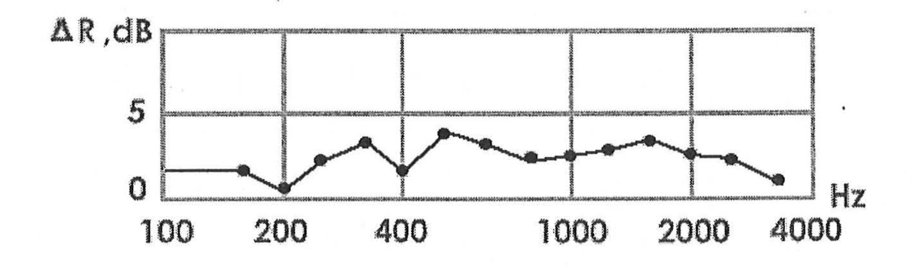


Figura 6.19: Mejora del índice de reducción acústica de un tabique de yeso, m′ = 100 kg/m^2; al colocar un junta de fieltro bituminoso en todo su perímetro.

La figura 6.20 muestra los resultados de los índices de reducción acústica de sistemas de dos hojas de particiones verticales de ladrillo hueco doble, con lana mineral en la cámara. En un caso con uniones rígidas en el perímetro de las dos hojas y en el otro con bandas elásticas en el perímetro.

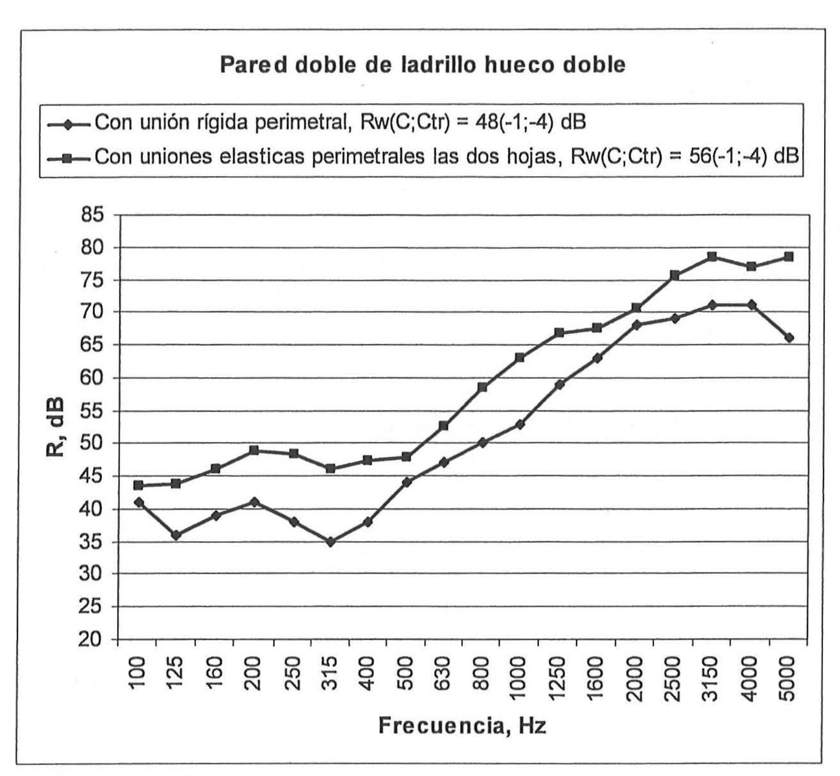


Figura 6.20: Uniones en el perímetro rígidas versus bandas elásticas

También se realizan sistemas de dos hojas donde la de mayor masa está unida rígidamente en su perímetro y se le trasdosa un tabique con bandas elásticas perimetrales. Para mejorar la estabilidad del tabique frente a las acciones exteriores horizontales los fabricantes aconsejan el uso de conectores o llaves acústicas, figura 6.21. Su correcta colocación no disminuye apreciablemente el índice de reducción acústica del sistema constructivo. Es aconsejable en soluciones de trasdosado con ladrillos huecos sencillos de 4-5 cm de espesor.

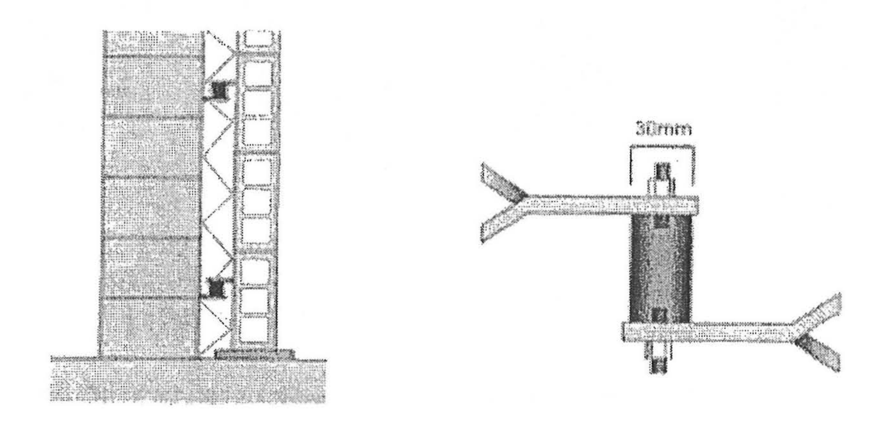


Figura 6.21: Sistema de dos hojas de fábrica con uniones rígidas y elásticas.

La realización de los sistemas con bandas elásticas en su perímetro debe ser muy cuidadosa en los encuentros con fachadas, pilares, tabiques, etc. En la parte superior de la pared el retacado del yeso se debe realizar contra la banda elástica, evitando que el yeso haga contacto con el techo.

6.7 SISTEMAS AUTOPORTANTES DE YESO LAMINADO.

En la actualidad, en los edificios de uso administrativo, comercial, industrial y residencial, las particiones interiores se realizan, en muchos casos, con tabiques autoportantes, constituidos por un entramado de perfiles de chapa metálica, una capa intermedia de lana mineral y una capa de placas de yeso laminado en cada lado. La mayoría de los fabricantes ofrecen productos homologados para el cumplimiento de las normativas acústicas y contra incendios e indican la forma de montaje correcta.

Es muy importante realizar una ejecución cuidadosa evitando puentes acústicos en las uniones con el techo, suelo y paredes, con las instalaciones eléctricas, calefacción, etc.

En las figuras 6.22 y 6.23 se muestran varios tipos de tabiques divisorios con los valores obtenidos de los índices ponderados de reducción acústica y sus términos de adaptación espectral.

SISTEMAS DE PLACAS DE YESO LAMINADO CON ESTRUCTURA METÁLICA

Armazón único con estructura metálica				
Composición	15+48+15	2x12,5+48+2x12,5	15+70+15	18+70+18
Masa por unidad de superficie, kg/m^2	26,3	42,2	26,8	34,3
$R_w(C;C_{tr})$, dB	45(-2;-9) dB	56(-3;-11) dB	48(-1;-5) dB	47(-2;-5) dB

Figura 6.22: Sistemas autoportantes de yeso laminado con armazón único.

Armazón doble con estructura metálica			
Composición	2x12,5+48+48+2x12,5	2x12,5+70+70+2x12,5	2x15+70+15+70+2x15
Masa por unidad de superficie, kg/m²	45	46	66
$R_w(C;C_{tr})$, dB	63(-4;-13) dB	66(-2;-9) dB	67(-2;-7) dB

Figura 6.23: Sistemas autoportantes de yeso laminado con armazón doble.

El índice ponderado de reducción sonora R_w de sistemas autoportantes de yeso laminado puede calcularse de acuerdo con las fórmulas propuestas en la Norma DIN 41091 y los esquemas de la figura 6.24. Las fórmulas son las siguientes:

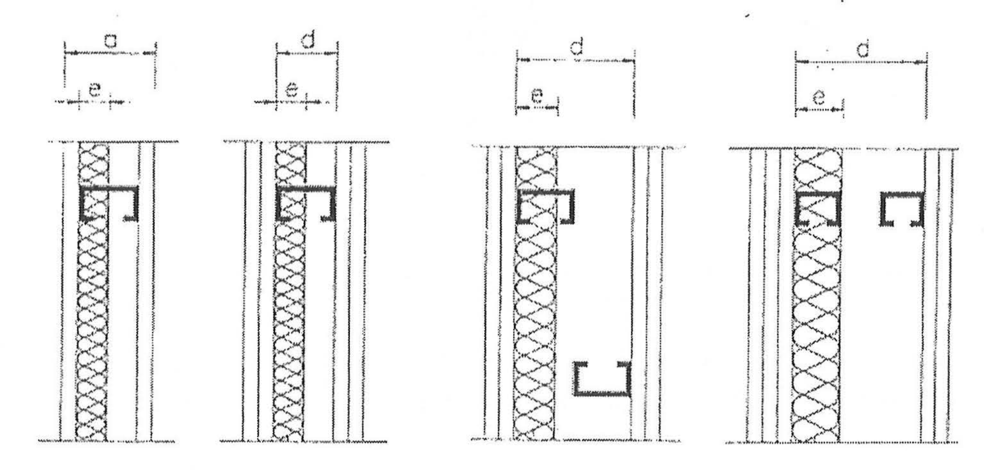


Figura 6.24: Esquemas de sistemas autoportantes de armazón único y doble

Armazón único: $R_w = 20.\log (m'/1 \text{ kg m}^2) + 20.\log(d/1 \text{ cm}) + e + 5 \text{ dB}$ (6.8)

Armazón doble: $R_w = 20.\log (m'/1 \text{ kg m}^2) + 20.\log(d/1 \text{ cm}) + e + 10 \text{ dB}$ (6.9)

Donde: m′, es la masa total por unidad de superficie del yeso laminado; d, la anchura de la cámara en cm; e, el espesor del panel de fibra en cm.

El ámbito de aplicación de las expresiones anteriores es hasta masas totales de 70-80 kg/m² y espesores máximos de 25-30 cm.

En este tipo de tabiques la colocación de un material absorbente acústico entre las placas de yeso laminado aumenta de forma importante el aislamiento acústico a ruido aéreo. En la figura 6.3 se mostró el efecto sobre el índice de reducción acústica de la introducción de material poroso en la cavidad de una pared doble de yeso laminado.

ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA DE PARTICIONES DE YESO LAMINADO DE ARMAZÓN DOBLE CON UNA HOJA DE YESO LAMINADO INTERMEDIA

En las figuras siguientes se muestran los resultados experimentales obtenidos en laboratorio [11] del efecto de incluir una hoja de yeso laminado intermedia entre un sistema autoportante de armazón doble de placas de yeso laminado. Como se mostró en el apartado 6.3 los sistemas de tres hojas tienen dos frecuencias de resonancia masa-aire-masa-aire-masa. El sistema triple de yeso laminado en el rango de bajas frecuencias tiene un índice de reducción acústica inferior en varios decibelios respecto a cuando el sistema es doble con la misma masa. La figura 6.25 muestra los resultados experimentales del sistema autoportante de yeso laminado formado por hojas de yeso laminado de espesor 12,5 cm, lana mineral de densidad 50 kg/m^3 y espesor 50 mm, montantes de acero de anchura 50 mm, distancia entre los perfiles metálicos de los armazones 100 mm, distancia entre los perfiles de acero en cada armazón 600 mm. Las frecuencias de resonancia del sistema triple están situadas entre 70 y 180 Hz.

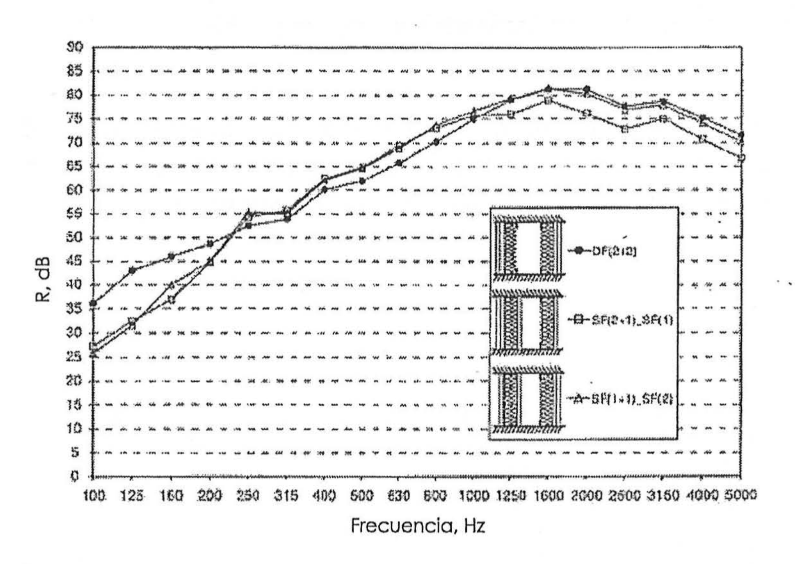


Figura 6.25: Índice de reducción acústica de un sistema de tres hojas de yeso laminado. Efecto de la posición de la tercera hoja y comparación con un sistema doble.

Para aumentar el índice de reducción acústica de sistemas de yeso laminado se pueden colocar las placas de yeso mediante perfiles y montantes metálicos elásticos tal como se muestra en la figura 6.26.

La eficacia de estos tabiques como aislantes del ruido aéreo se puede ver muy afectada por las transmisiones indirectas, huecos no sellados, fisuras, aberturas alrededor de las tuberías, tomas de corriente, etc. Es necesario colocar bandas de estanquidad en el perímetro del sistema autoportante, que además absorben los movimientos diferenciales entre los paramentos y los perfiles.

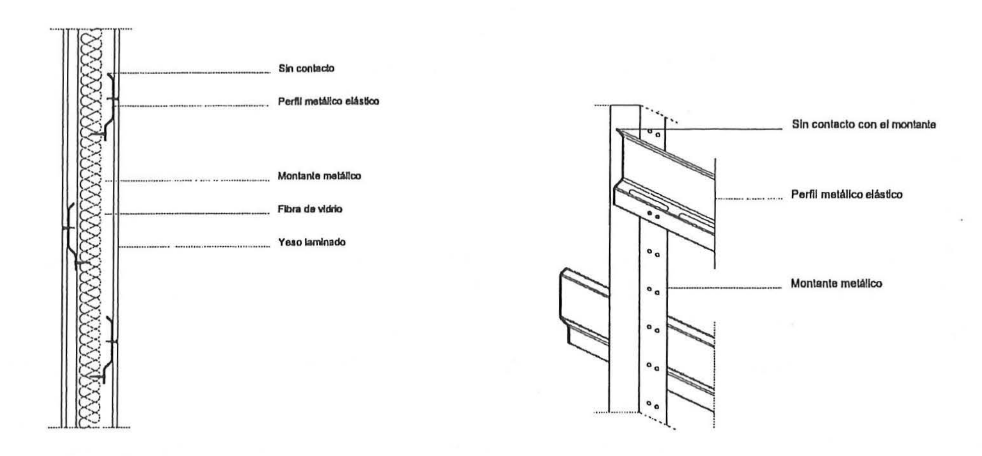


Figura 6.26: Detalle de perfiles metálicos elásticos para aumentar el índice de reducción acústica del sistema.

Los enchufes, interruptores y cajas de registro, colocados en el mismo elemento de separación vertical no deben ser pasantes ni coincidentes, excepto cuando se coloque entre ellos una placa de yeso laminado o de fábrica. Lo anterior es válido para cualquier tipo de particiones verticales o medianerías, figura 6.27.

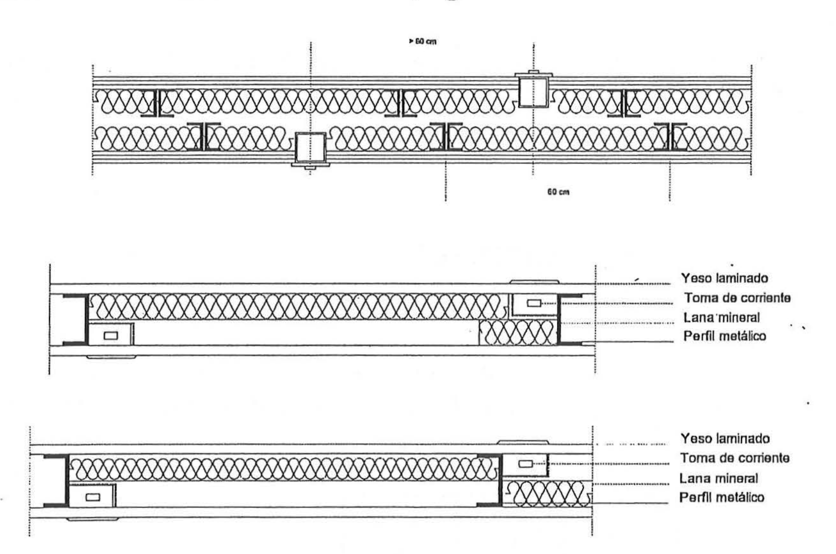


Figura 6.27: Diferentes montajes de tomas de corriente en sistemas autoportantes.

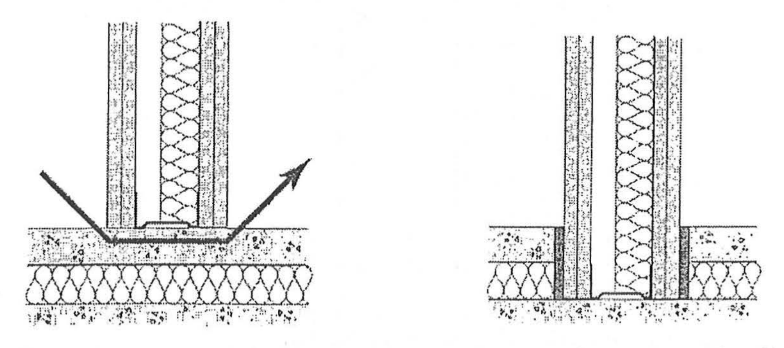


Figura 6.28: La colocación del sistema autoportante sobre un suelo flotante reduce la eficacia del índice de reducción acústica del sistema.

Recomendaciones de realización de sistemas de entramado autoportante.
Se transcriben las consideraciones que se realizan en el DB HR Protección frente al ruido:

- Los elementos de separación verticales de entramado autoportante deben montarse en obra según las especificaciones de la UNE 102040 IN y los trasdosados, bien de entramado autoportante, o bien adheridos, deben montarse en obra según las especificaciones de la UNE 102041 IN. En ambos casos deben utilizarse los materiales de anclaje, tratamiento de juntas y bandas de estanquidad establecidos por el fabricante de los sistemas.
- Las juntas entre las placas de yeso laminado y de las placas con otros elementos constructivos deben tratarse con pastas y cintas para garantizar la estanquidad de la solución.
- En el caso de elementos formados por varias capas superpuestas de placas de yeso laminado, deben contrapearse las placas, de tal forma que no coincidan las juntas entre placas ancladas a un mismo lado de los perfiles autoportantes.
- El material absorbente acústico o amortiguador de vibraciones puesto en la cámara debe rellenarla en toda su superficie, con un espesor de material adecuado al ancho de los perfiles utilizados.
- En el caso de trasdosados autoportantes aplicados a un elemento base de fábrica, se cepillará la fábrica para eliminar rebabas y se dejarán al menos 10 mm de separación entre la fábrica y los canales de los perfiles.

6.8 SISTEMAS MULTIHOJAS COMBINACIÓN DE ELEMENTOS DE FÁBRICA CON SISTEMAS AUTOPORTANTES.

Una forma de aumentar el índice de reducción acústica de sistemas de fábrica de una hoja es trasdosarles sistemas autoportantes de yeso laminado que no estén unidos mecánicamente a la pared de fábrica.

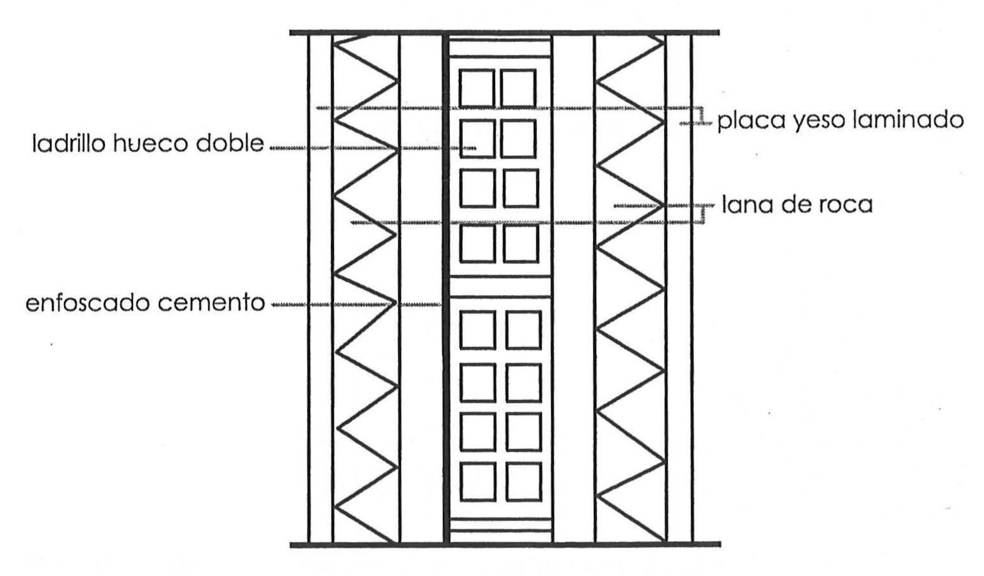


Figura 6.29: Pared de ladrillo hueco doble trasdosada con sistemas autoportantes de yeso laminado.

En la figura 6.30 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de los siguientes sistemas:

- Fábrica de ladrillo hueco doble, de espesor 7 cm, enfoscado de cemento por una cara de espesor 0,5 cm y trasdosado por una cara con una placa de yeso laminado de 15 mm de espesor atornillada a perfiles autoportantes de 48 mm, la cámara está rellena de lana de roca de espesor 4 cm. El trasdosado va equipado con instalación eléctrica, la masa total por unidad de superficie es de 84 kg/m^2.
- El segundo sistema ensayado consiste en añadir al primero, por la otra cara, otro trasdosado de las mismas características. La masa total por unidad de superficie es en este caso de 97 kg/m^2.
- El tercer sistema consta de una pared de fábrica de ladrillo cerámico perforado de espesor 14 cm, con 1 cm de enlucido de yeso por una cara y trasdosado por ambas caras con placas de yeso laminado de 15 mm de espesor, atornilladas a perfiles autoportantes de 48 mm, la cámara está rellena de lana de roca de espesor 4 cm. Ambos trasdosados van equipados con instalación eléctrica. La masa total por unidad de superficie es de 200 kg/m^2.

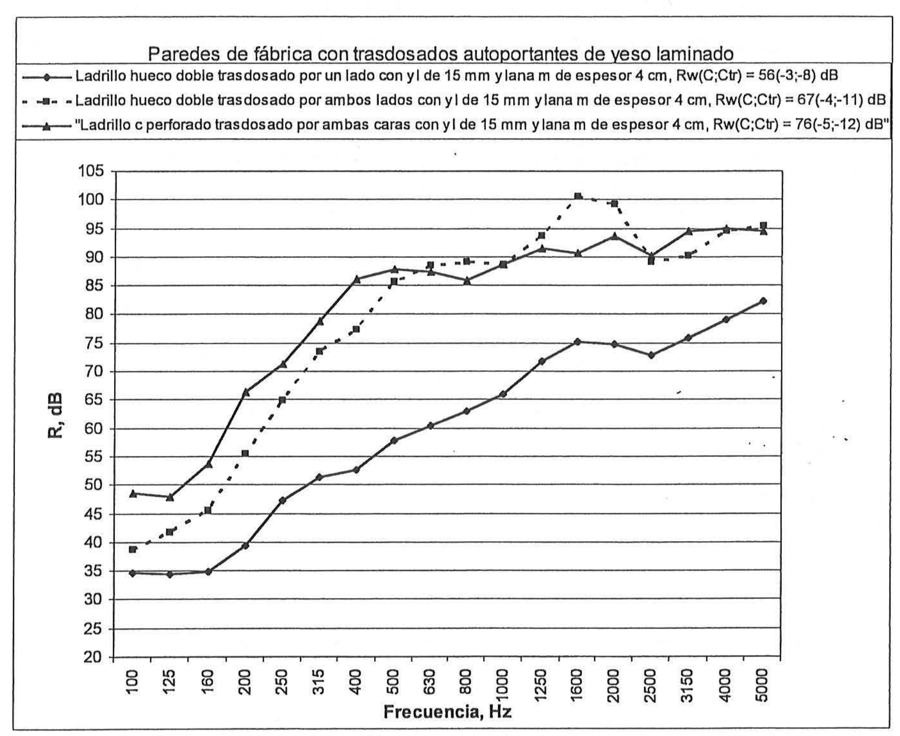


Figura 6.30: Ejemplos de índices de reducción acústica de sistemas multihojas combinación de elementos de fábrica con sistemas autoportantes

6.9 SISTEMAS SANDWICH

Los paneles sándwich consisten en un sistema cuyo núcleo o alma alveolar es de un material ligero situado entre dos paneles habitualmente de tableros de partículas (aglomeradas, orientadas, cemento madera, etc.), yesos laminados, metálicos o combinaciones de ellos. Estos paneles sándwich se utilizan en la industria del transporte así como en la construcción de edificios.

Las ondas en el panel son una combinación de ondas de flexión y de corte en paralelo. Para núcleos con un material no poroso, la transmisión resonante se puede modelar como un movimiento de ondas simétricas y antisimétricas en el panel. Las ondas

simétricas corresponden a modos de dilatación y las antisimétricas a las ondas de flexión. Las ondas de dilatación implican variación del espesor del núcleo, se produce una frecuencia de resonancia de dilatación que causa una disminución importante del índice de reducción acústica del sistema, aparte de la disminución producida por el efecto de coincidencia. Moore y Lyon, [12], dedujeron unas expresiones analíticas para calcular el índice de reducción acústica de paneles sandwich. La frecuencia de resonancia de dilatación del sistema sándwich se obtiene para el caso de paneles de igual espesor $h_1 = h_3$ y núcleo de espesor h_2 mediante la fórmula:

$$f_{dil} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2E_2(1-\nu_2)}{(1-2\nu_2)(1+\nu_2).h_2(m_1' + \frac{m_2'}{6})}} \quad Hz \tag{6.10}$$

Donde $m_1' = \rho_1 h_1$, y $m_2' = \rho_2 h_2$, en kg/m^2 y E_2 y ν_2 los coeficientes elásticos del núcleo.

La figura 6.31 muestra los resultados del índice de reducción acústica de un sándwich de paneles de yeso laminado con núcleo de espuma de poliuretano y de una pared de dos hojas de yeso laminado con fibra mineral o no en su interior. En el sándwich de yeso laminado se observa que aparte del efecto de coincidencia, que se produce en los tres montajes, existe una disminución importante del índice de reducción acústica en un amplio rango de frecuencias alrededor de la frecuencia de dilatación del sistema.

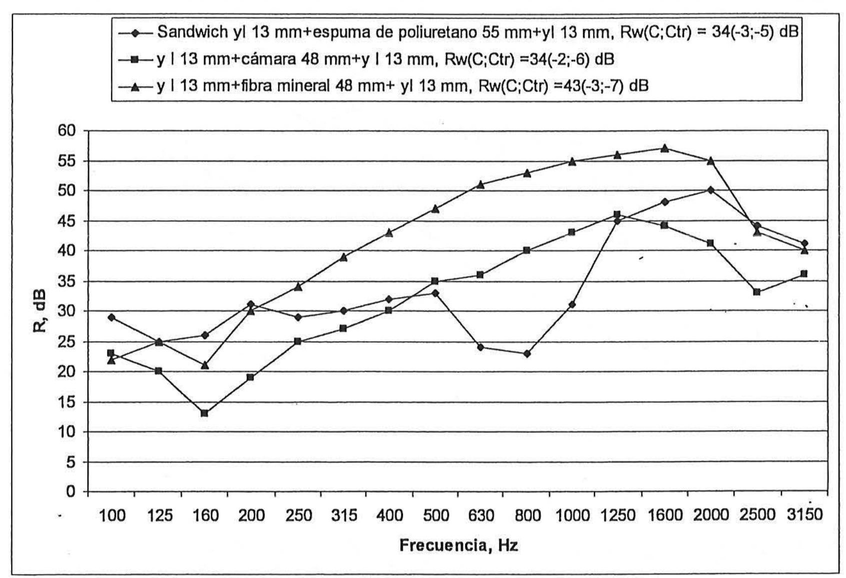
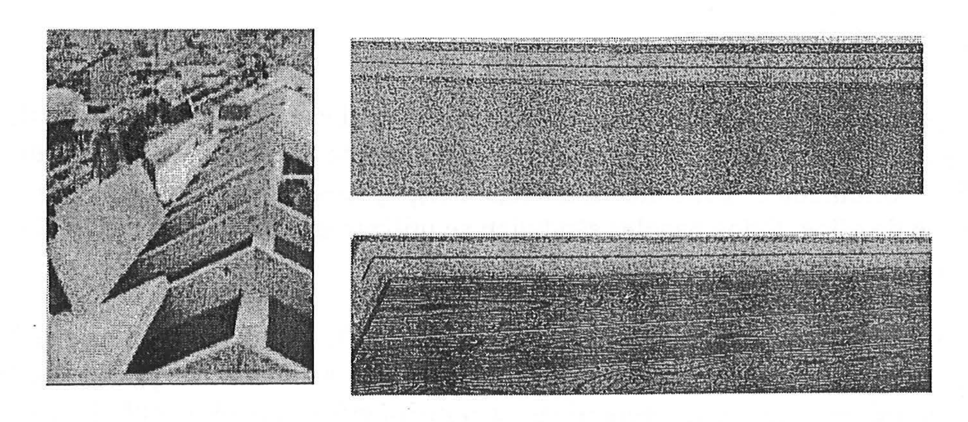


Figura 6.31: Comparación del índice de reducción acústica de sistemas de dos hojas de yeso laminado en diferentes montajes.



En la construcción de cubiertas ligeras de edificios se suelen utilizar paneles sándwich formados en la cara exterior por paneles de tablero aglomerado hidrófugo, cemento madera, etc. y en la cara inferior placas de yeso laminado, cemento madera, tablero partículas orientadas, panel de virutas de madera, tablero fenólico, con y sin friso de madera, etc. El núcleo del sándwich suele ser de espuma de poliestireno extruido o de lana mineral de densidad de 100-150 kg/m^3. La cobertura suele ser de teja, pizarra o planchas metálicas con elementos auxiliares que permiten la ventilación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] B.H. Sharp,(1978). A Study of Techniques to Increase the Sound Insulation of Building Elements. NTIS PB 222829/4, U.S. Department of Housing and Urban Development, Washington DC; "Prediction Methods for the Sound Transmission of Buildings Elements", Noise Control Eng., 11(2), 53-63.

[2] Brekke, A.(1981). Calculation methods for the transmission loss of single, double and triple partitions. Applied Acoustics **14**, 225-240

[3] Vinokur R.Y. Transmission loss of triple partitions at low frequencies. Appl. Acoust. 1990; **29**:15-24.

[4] Vinokur R.Y. Evaluating Sound-Transmission Effects in Multi-Layer Partitions. Bay Village, OH: Sound and Vibration Magazine, July 1996.

[5] Long, M. (2006). Architectural Acoustics. Amsterdam, Elsevier Academic Press.

[6] B.H. Sharp. A Study of Techniques to Increase the Sound Insulation of Building Elements. WR 73-05. El Segundo, CA: Wyley Laboratories, June 1973.

[7] UNE-EN 12354-1:2000. Acústica en la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos.

[8] UNE-EN 12354-3:2001. Acústica en la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico contra el ruido exterior.

[9] Homb, A., Hvee, S. and Strom. Sound insulating constructions. Report 28, NBI, Oslo, Norway.

[10] Gösele, K. Zur Luftshalldämmung von einschaligen Wänden und Decken. Acústica, Vol **20.** 1.968

[11] Uris; Bravo;Gómez-Lozano;Ramirez;Llinares. (2006). Sound insulation of double frame partitions with an internal gypsum board layer. Applied Acoustics **67**, 918-925.

[12] Moore J.A. y Lyon R.H.,(1991), Sound transmission loss characteristics of sandwich panel constructions. J. Acoust. Soc. Am., 89, 2 777-791.

7 AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO DE VENTANAS Y PUERTAS

7.1 INTRODUCCIÓN

En esta lección se estudia el comportamiento acústico de dos sistemas constructivos de gran importancia en el aislamiento acústico a ruido aéreo del cerramiento del hueco de fachada o de una partición en un edificio. Estos elementos constructivos son el resultado de una larga evolución histórica y tienen que cumplir unos requisitos básicos en la edificación, entre ellos los acústicos. La legislación acústica en la edificación exige unos requerimientos mínimos del índice de reducción acústica de estos sistemas constructivos, dependiendo del lugar donde este situado el edificio, su uso y tipo de recinto.

7.2.- LAS VENTANAS Y SUS REQUISITOS EN EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO.

Una ventana, es un elemento constructivo que sirve, de una forma funcional y estética, para cerrar el hueco de fachada. Es la parte transparente de la fachada que permite la relación interior/exterior, así como la entrada de aire, iluminación natural, radiación solar y la visión en ambos sentidos. Aproximadamente el 70-80 % de la ventana es vidrio, soportado sobre unos bastidores de diferentes materiales: madera, aluminio, PVC, poliuretano y mixtos, que permiten la apertura y el cierre de la ventana y protegen el interior de las inclemencias externas y del ruido [1].

Las ventanas con independencia de la materia prima de sus perfiles y sistema de apertura, tienen características fundamentales que afectan a la satisfacción de los requisitos básicos de la edificación. Se concretan en las siguientes características técnicas armonizadas definidas en la norma de producto UNE-EN 14351-1: Reacción al fuego; mecanismos de seguridad para ventanas abisagradas y pivotantes; resistencia al impacto, a las acciones del viento, nieve y cargas permanentes; estanquidad al agua; emisión de sustancias peligrosas; aislamiento acústico a ruido aéreo; permeabilidad al aire; resistencia térmica y propiedades frente a la radiación solar [2].

Las características de las ventanas deberán establecerse en el proyecto especificando las prestaciones de permeabilidad al aire, estanquidad al agua, resistencia al viento, aislamientos térmico y acústico y durabilidad mecánica de acuerdo con la normativa vigente y de las características del edificio, como son entre otras, su ubicación, su situación dentro del mismo, su sistema de calefacción/refrigeración y de renovación de aire. Es recomendable seguir la UNE 85220 que da los criterios de elección de características de las ventanas relacionadas con su ubicación y aspectos ambientales.

Una ventana está formada por un bastidor y el vidrio, así como el marco, en consecuencia existe un problema de juntas entre los dos. Un elemento de la fachada convencional es la persiana enrollable de cajón y cinta. Comenzó a utilizarse a principios del siglo XX y se popularizó rápidamente.

La primera característica de las ventanas, que afecta su funcionalidad, es el sistema de apertura de la parte practicable.

En la ventana practicable batiente el accionamiento de la manilla hace que la hoja presione el marco fijo al cerramiento, lo que hace disminuir la penetración del aire, mejora el cierre y permite mejorar la clasificación de permeabilidad al aire y aumenta el aislamiento acústico a ruido aéreo, pero hay que dejar libre de forma permanente el espacio que barre la hoja al abrir.

La ventana de corredera no ocupa ningún espacio fuera del volumen del cerramiento ciego, pero el cierre es menos estanco y no permite bajas permeabilidades al aire ni elevado aislamiento acústico.

En la figura 7.1 se muestran las tipologías de ventanas más habituales en España. (UNE-EN 12519).

Tradicionalmente, la ventana ha venido utilizándose, además de para iluminar y relacionarse con el exterior, para posibilitar la ventilación de los recintos y la aireación, todo ello basado en una ventilación cruzada o efecto chimenea, pero en todo caso, provocado por la presión del aire exterior, presión irregular que, para garantizar siempre una aireación correcta, no puede menos que producir infiltraciones excesivas en algunos momentos.

Para limitar la demanda energética del edificio se suelen considerar las siguientes prestaciones de las ventanas (EN 14351-1): permeabilidad al aire, transmitancia térmica, la condensación en las ventanas, propiedades frente a la radiación solar.

La permeabilidad al aire es la propiedad de una ventana cerrada de dejar pasar aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. Se mide por el caudal de aire (m^3/h) que atraviesa la ventana para distintas presiones de aire.

La clasificación de las ventanas se basa en una comparación de la permeabilidad al aire de la muestra de ensayo por referencia a la superficie total, y su permeabilidad al aire por referencia a la longitud de la junta de apertura.

Las carpinterías exteriores, el grado de permeabilidad al aire, la masa del acristalamiento, cajas de persiana y el sistema de montaje, influyen de manera decisiva en el aislamiento al ruido aéreo de la fachada de un recinto. La elección de la clase de ventana para un determinado emplazamiento, debe hacerse de forma que responda a la más exigente entre todas las que se tienen que considerar para cada característica.

La Norma UNE-EN 12207 [3] clasifica las ventanas y puertas completamente instaladas de cualquier material según su permeabilidad al aire de su superficie total y de sus juntas de apertura, ver figura 7.2. Para establecer la permeabilidad al aire mínima exigible a cada una de las ventanas del edificio, el Código Técnico de la edificación español establece que la permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa y referida a la superficie total, tendrá unos valores inferiores a los siguientes: En las zonas climáticas A y B: 50 $m^3/h.m^2$ (Las ventanas deben ser como mínimo de clase 1).En las zonas climáticas C, D y E: 27 $m^3/h.m^2$, (las ventanas deben ser de clase 2 como mínimo). Se establecen 12 zonas climáticas identificadas mediante una letra, correspondientes a la división de invierno, y un número correspondiente a la división de verano. Las balconeras tiene el mismo tratamiento que las ventanas.

Cuando en un recinto se instalan ventanas clasificadas Clase 3 o 4 es posible la aparición de condensaciones en las superficies interiores de los cerramientos. Por ello será necesario incorporar sistemas de renovación de aire, estudiados acústicamente, de manera que garanticen la adecuada renovación del aire del recinto sin necesidad de abrir la ventana.

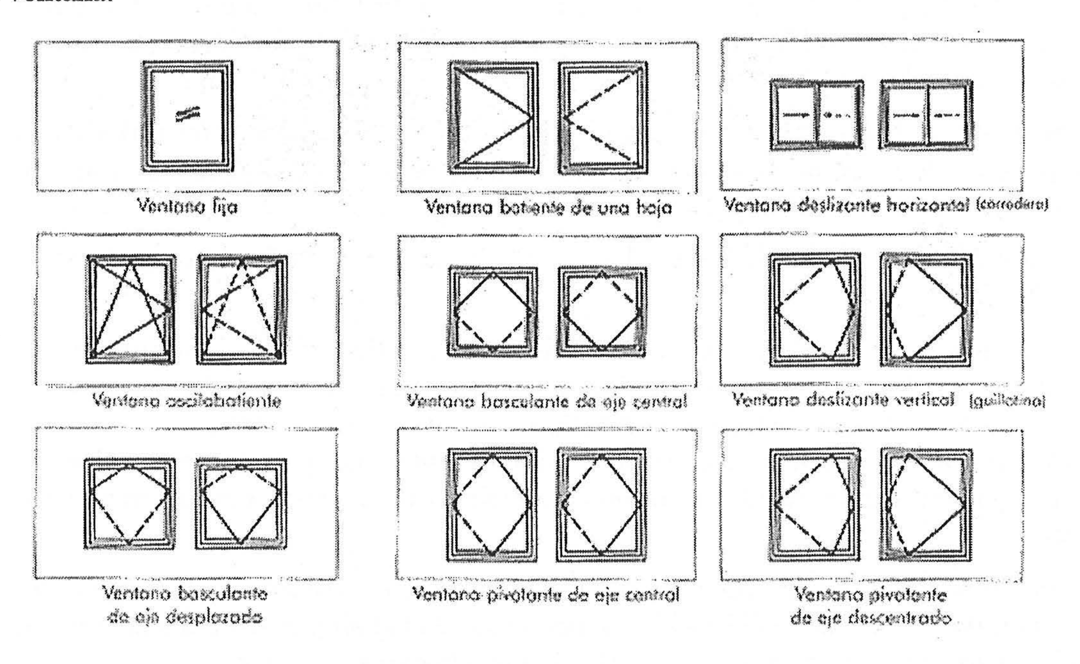


Figura 7.1. Tipologías habituales de las ventanas en España.

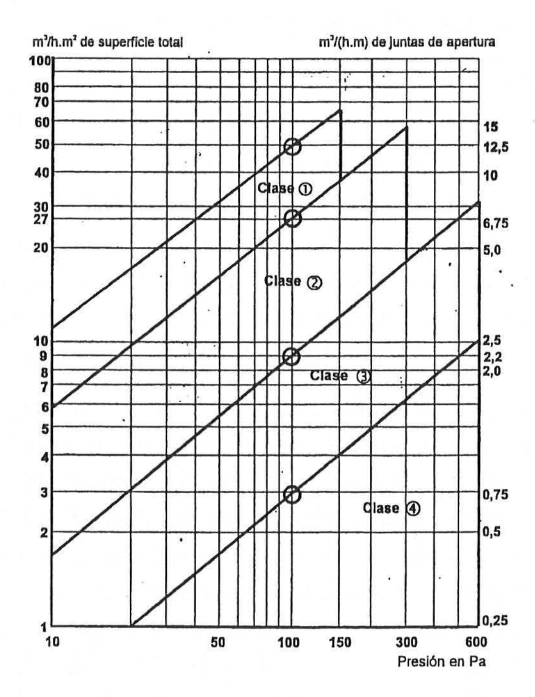


Figura 7.2. Clasificación de las ventanas y puertas instaladas según su permeabilidad al aire. (Norma UNE-EN 12207).

7.3 EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO DE LAS VENTANAS.

El índice de reducción acústica del cerramiento del hueco de la fachada de un recinto es determinante en el aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada. Los valores del aislamiento proporcionado por las ventanas se deben determinar mediante ensayo realizado en laboratorio.

En la teoría, se deduce que el índice de reducción acústica de la fachada formada por una parte ciega y una superficie acristalada está limitado por el índice de reducción acústica de componente de menor aislamiento acústico, en general la parte de fachada acristalada.

Una expresión analítica para determinar el índice de reducción acústica de la ventana en función de los índices de reducción acústica mixto de la fachada R_m y de la parte ciega R_c , y de las superficies respectivas de la ventana y de la parte ciega, sin tener en cuenta la existencia de cajón de persiana, ni las transmisiones indirectas, es la siguiente:

$$R_V = 10.\lg\left[\frac{S_v}{\dfrac{S_v + S_c}{10^{0,1R_m}} - \dfrac{S_c}{10^{0,1R_c}}}\right] \quad dB \qquad (7.1)$$

donde: R_v es el índice de reducción acústica de la ventana; R_m es el índice de reducción acústica mixto de la fachada; R_c es el índice de aislamiento acústico de la parte ciega; S_v área de la superficie de la ventana; S_c área de la parte ciega.

En el valor del índice de reducción acústica de las ventanas hay que considerar los factores siguientes: Tipo de acristalamiento, dimensiones del acristalamiento, el tipo de carpintería, las juntas y uniones, el sistema de apertura de la ventana, la existencia de persianas y cajón de persiana. El tipo de acristalamiento y sus dimensiones son los factores más importantes y se han analizado en la lección anterior.

INFLUENCIA DEL BASTIDOR DE LA VENTANA

El bastidor de la ventana es el conjunto de perfiles sin paneles que constituyen tanto las partes fijas como las partes móviles de las ventanas y que quedan dentro del cerco. La influencia del bastidor del cerramiento del hueco depende:

- De las prestaciones acústicas de la parte acristalada, cuanto mayor sea el índice de reducción acústica del vidrio, mayor será la influencia del bastidor.

- Del porcentaje de la superficie del bastidor respecto al área del hueco.

El bastidor debe presentar poca permeabilidad al aire, tanto las partes móviles como las fijas. Las juntas entre el vidrio y el perfil, así como las juntas entre los diversos perfiles pueden ser las causas de disminución del índice de reducción acústica. La existencia de juntas defectuosas disminuye el índice de reducción acústica a altas frecuencias e incluso a medias.

En los ensayos realizados en laboratorio, de ventanas con buenas carpinterías, con el mismo tipo de acristalamiento y sistema de apertura, los índices de reducción acústica de las ventanas son semejantes con independencia de que los bastidores sean de madera, aluminio, PVC o mixtos. El uso de buenos acristalamientos no es eficaz en carpinterías de mala calidad.

- Las juntas entre el hueco de obra y el marco deben estar correctamente selladas.

INFLUENCIA DEL SISTEMA DE APERTURA DE LA VENTANA

El aislamiento acústico de las ventanas depende fundamentalmente de la permeabilidad al aire de las carpinterías y del acristalamiento elegido. El índice de reducción acústica de las ventanas de apertura batiente es superior al de la ventana deslizante, sobre todo a altas frecuencias, pues el sistema de cierre de las ventanas deslizantes es muy permeable al aire, y el ruido penetra por las holguras entre las hojas. En el caso de ventanas correderas sin sistema de presión sobre el marco, la curva de aislamiento no varía de forma importante, aún aumentando el espesor del vidrio. Las figuras 7.3 y 7.4 muestran este comportamiento en laboratorio.

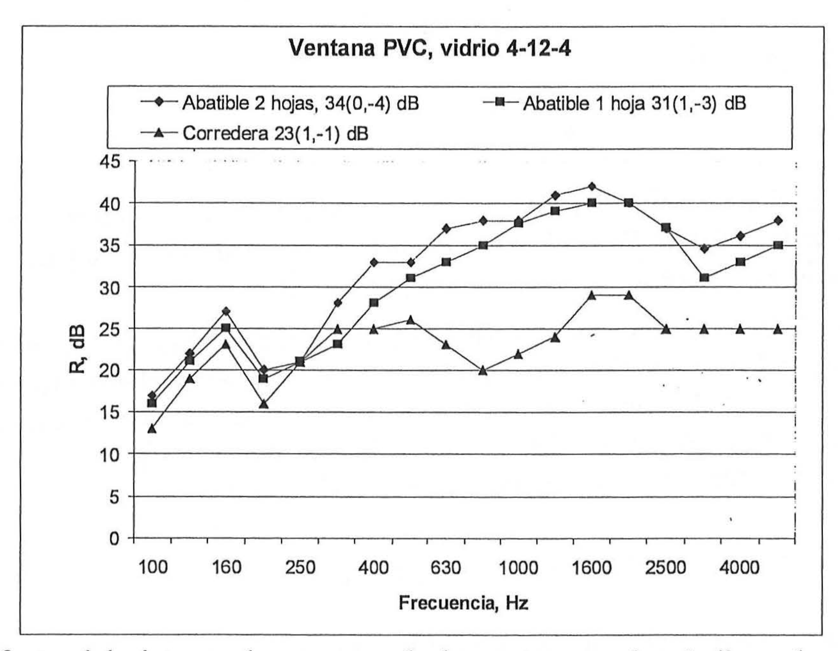


Figura 7.3: Efecto del sistema de apertura de la ventana en los índices de reducción acústica de ventanas de carpintería de PVC con el mismo tipo de vidrio.

EL CAJÓN DE PERSIANA

Para mejorar el comportamiento térmico y controlar la radiación solar la ventana se ha equipado con diferentes protecciones como por ejemplo las contraventanas y persianas.

La contraventana, es un tablero fijo con bisagras en la hoja por su cara interior y que cierra con el vidrio, fue un elemento esencial para la protección térmica durante la noche, un oscurecimiento total y disminución de los niveles sonoros en el recinto producidos por el ruido en el exterior.

Una mejora importante en la protección solar de la ventana fue el equiparla con una persiana: con lamas horizontales o verticales, de librillo, enrollable de cuerda, de librillo con lamas orientables, etc. La persiana enrollable de cajón y cinta comenzó a utilizarse a principios del siglo XX y se popularizó inicialmente para solucionar la protección la protección de los grandes miradores en los que el librillo exterior era casi imposible. En los primeros tiempos de utilización, el cajón de persiana se colocaba exterior a la fachada, en la actualidad es habitual colocarle hacia el interior del recinto.

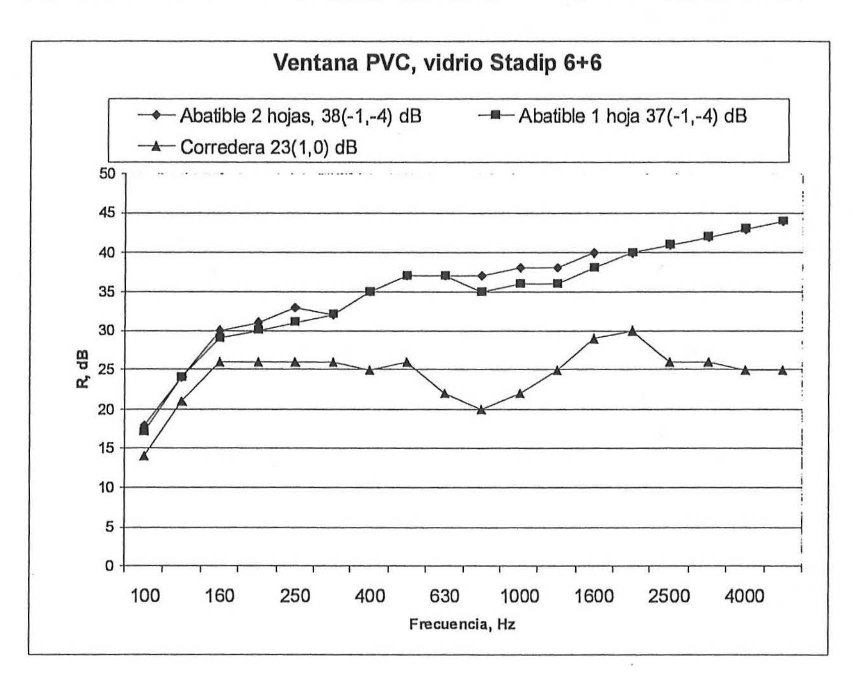


Figura 7.4: Comparación de los índices de reducción acústica de ventanas de PVC con sistemas de apertura batiente y corredera, con el mismo tipo de vidrio laminar.

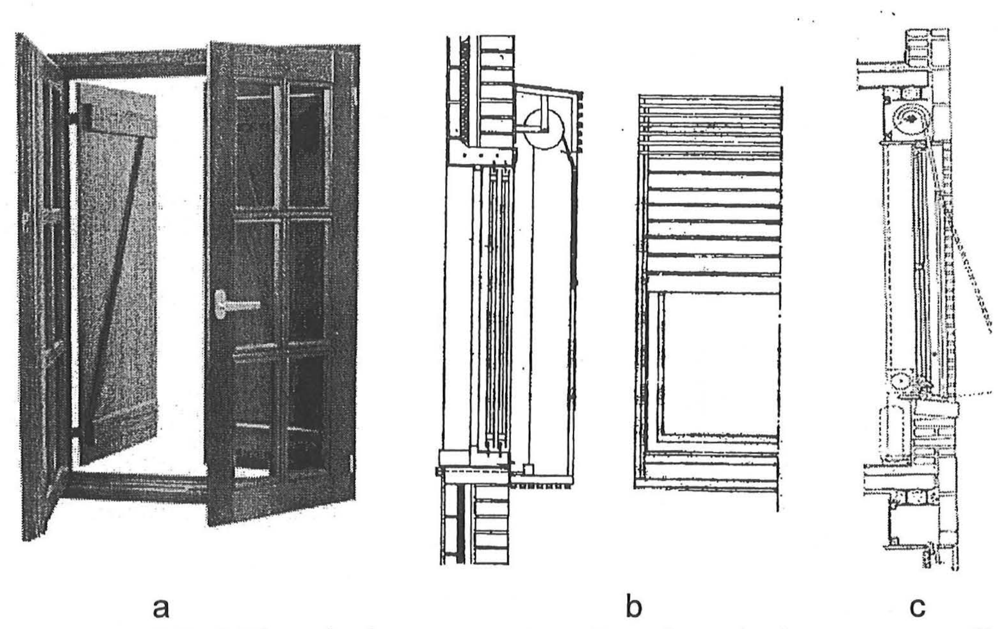


Figura 7.5: a) Ejemplo de contraventana. La existencia de cuarterones disminuye el aislamiento a ruido aéreo de la ventana. b) Bombo exterior en las viviendas de la calle Osio, Barcelona. (Arq. J.Martorell, O. Bohigas, D. Mackay). c) Persiana enrollable de la Casa de las Flores, (Arq. Secundino Zuazo, Madrid, 1931-1932).

Las cajas de persiana de obra con el cajón de persiana (capialzado) instalado por el interior del recinto, en las que no se mejora su aislamiento acústico a ruido aéreo tienen una influencia desfavorable de aproximadamente 5 dBA en el índice de global de reducción acústica de la fachada de un recinto. Para mejorar el índice de reducción acústica en cajones de persiana de obra instalados, es imprescindible la colocación de bandas de estanquidad, reforzar la estructura de la caja, aumentar la masa de la tapa de registro y realizar un tratamiento absorbente en su interior. Si el cajón de persiana está colocado exterior al recinto, prácticamente no influye en el índice de reducción acústico de la ventana.

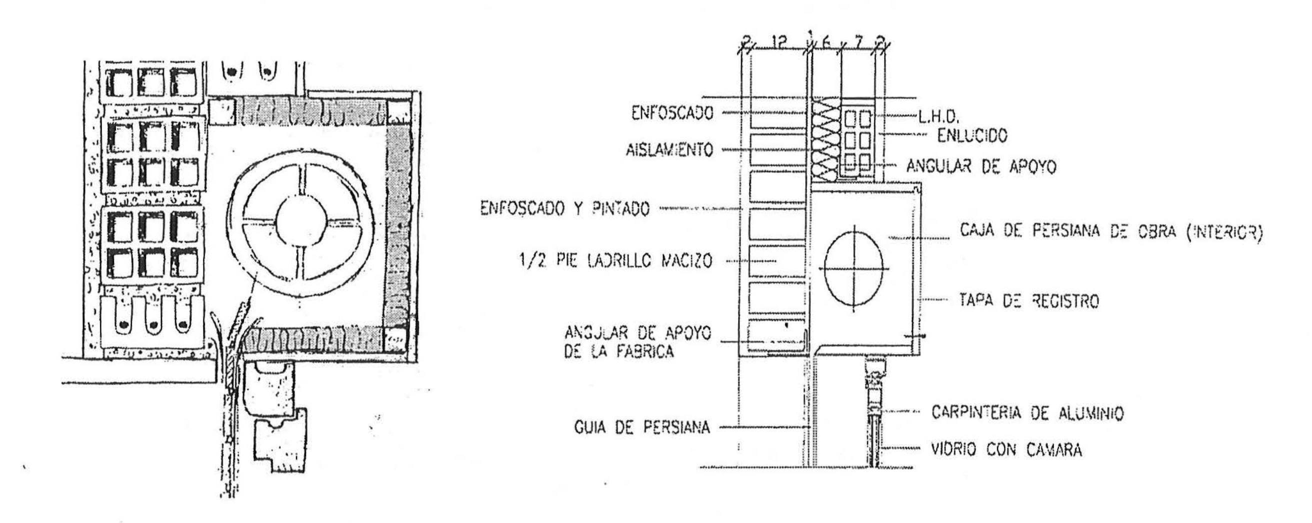


Figura 7.6: Ejemplos de cajones de persiana de obra

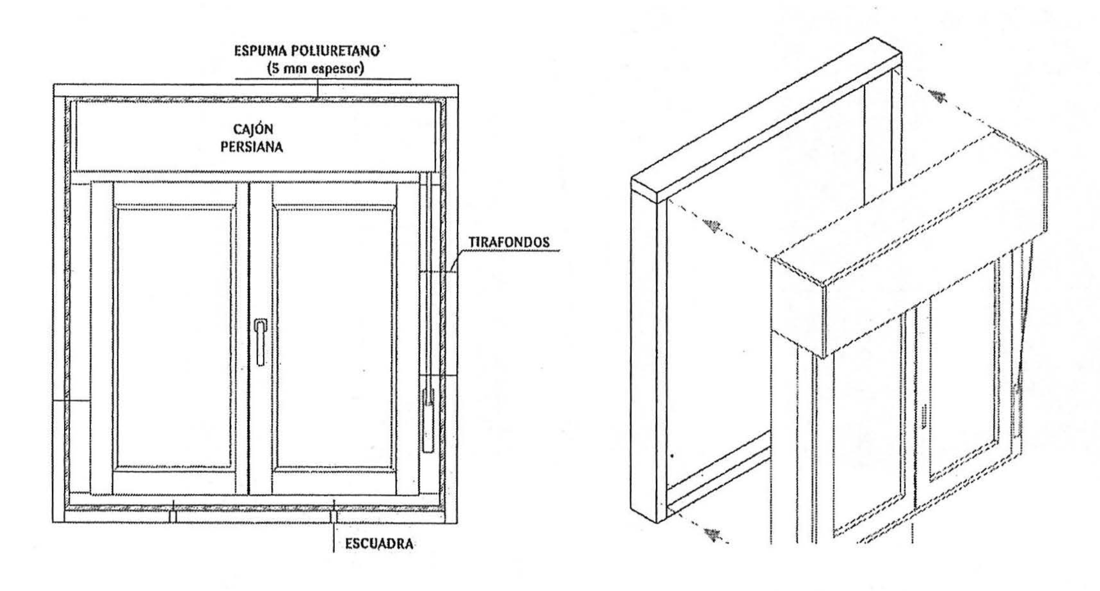


Figura 7.7: Ejemplo de ventana y cajón de persiana prefabricado en un único conjunto (monobloc). Puede ir colocada directamente sobre la fábrica o sobre un premarco. El montaje se finaliza con la colocación de tapajuntas.

Existen cajones de persianas prefabricados que tienen excelentes aislamientos térmico y acústico a ruido aéreo. En ellos el cajón de persiana va fijado a la ventana mediante un sistema de clip, que facilita el montaje y la baja permeabilidad al aire del sistema. Otros cajones prefabricados no tienen ningún tratamiento acústico y no están fijados firmemente a la ventana, figura 7.8.

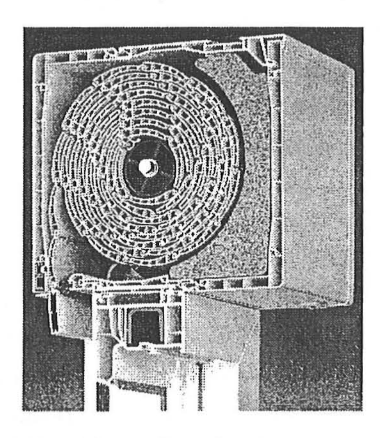
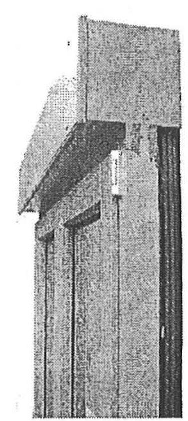
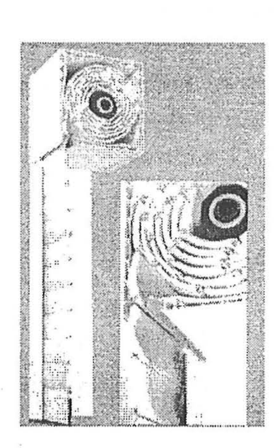




Figura 7.8: Ejemplos de cajones de persianas prefabricados.

A continuación vamos a analizar el efecto del cajón de persiana y la existencia de material en su interior, el que la persiana esté bajada o subida, sobre el índice de reducción acústica de la ventana [4], el estudio ha sido realizado sobre sistemas de ventanas prefabricadas de carpintería de PVC.

EFECTO DE LA PERSIANA

Cuando la persiana está bajada el sistema funciona como un sistema de tres particiones. La figura 7.9 muestra el índice de reducción acústica de una persiana de lamas de plástico bajada. El índice de reducción acústica es $R_w(C;C_{tr}) = 20(-1;-2)$ dB. En la figura se compara con el índice de reducción acústica de un vidrio sencillo de espesor 4 mm.

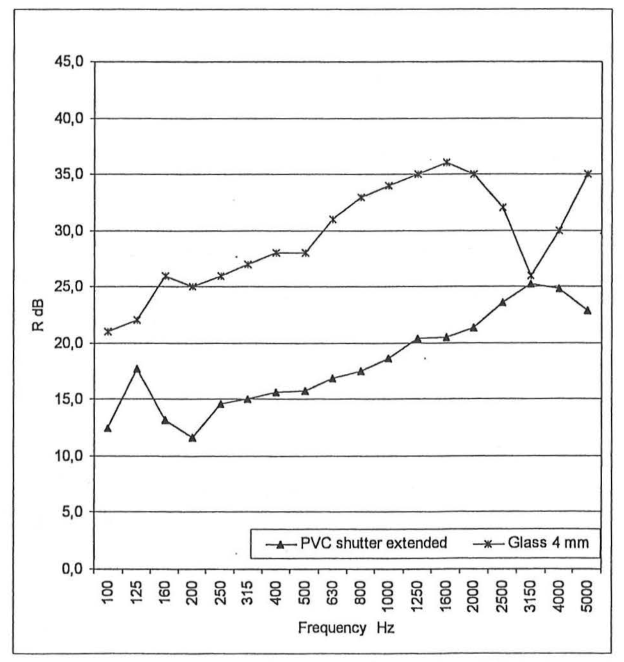


Figura 7.9: Índice de reducción acústica de una persiana bajada.

Efecto de la existencia de material en el cajón de persiana

La inclusión de material en el cajón de persiana mejora el aislamiento acústico a altas frecuencias, no afecta a los valores globales de forma decisiva y mejora su aislamiento térmico. El factor más importante es que el cajón de persiana esté colocado adecuadamente. Las figuras siguientes comparan los índices de reducción acústica promedio de varias ventanas de PVC de diferentes empresas, con cajón de persiana con la persiana subida o bajada y con diferentes materiales colocados delante de la tapa del cajón y detrás del tambor y las lamas. Todas las ventanas son de clase 3 y 4 en las abatibles y clase 3 en las deslizantes, respecto a su permeabilidad al aire. En las figuras 7.10 y 7.11 se muestra el efecto de colocar diferentes materiales en ventanas abatibles con la persiana bajada o subida. Cuando la persiana esta bajada, a partir de las frecuencias medias, el índice de reducción acústica del sistema es mayor que cuando no existe cajón de persiana. Por el contrario cuando la persiana está subida, a frecuencias medias, el índice de reducción acústica de la ventana sin cajón de persiana es mayor que cuando existe este. Cuando no hay material en el cajón de persiana el índice de reducción acústica es algo inferior a cuando se coloca fibra de vidrio de espesor 2,5 cm o poliestireno expandido adaptado a la curvatura del tambor y las lamas. Las figuras 7.12 y 7.13 muestran los resultados anteriores para ventanas deslizantes. Cuando la persiana está subida el efecto del cajón de persiana es menor.

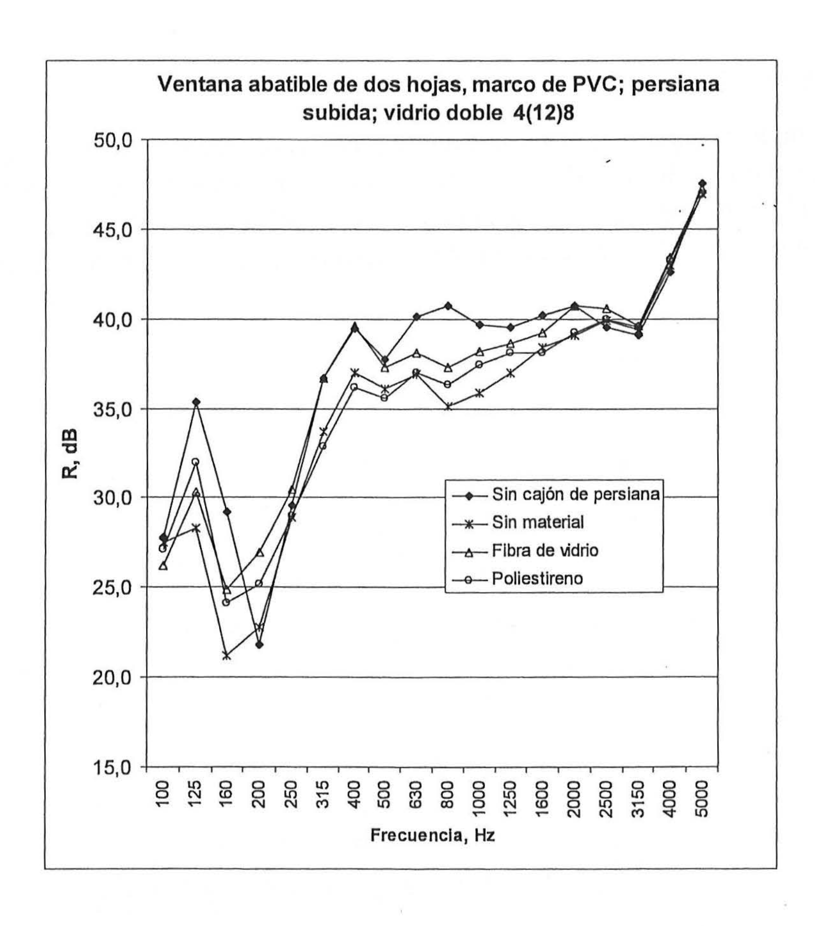


Figura 7.10: Efecto sobre el índice de reducción acústica de una ventana abatible de dos hojas con la persiana subida, de la colocación o no de material en el cajón.

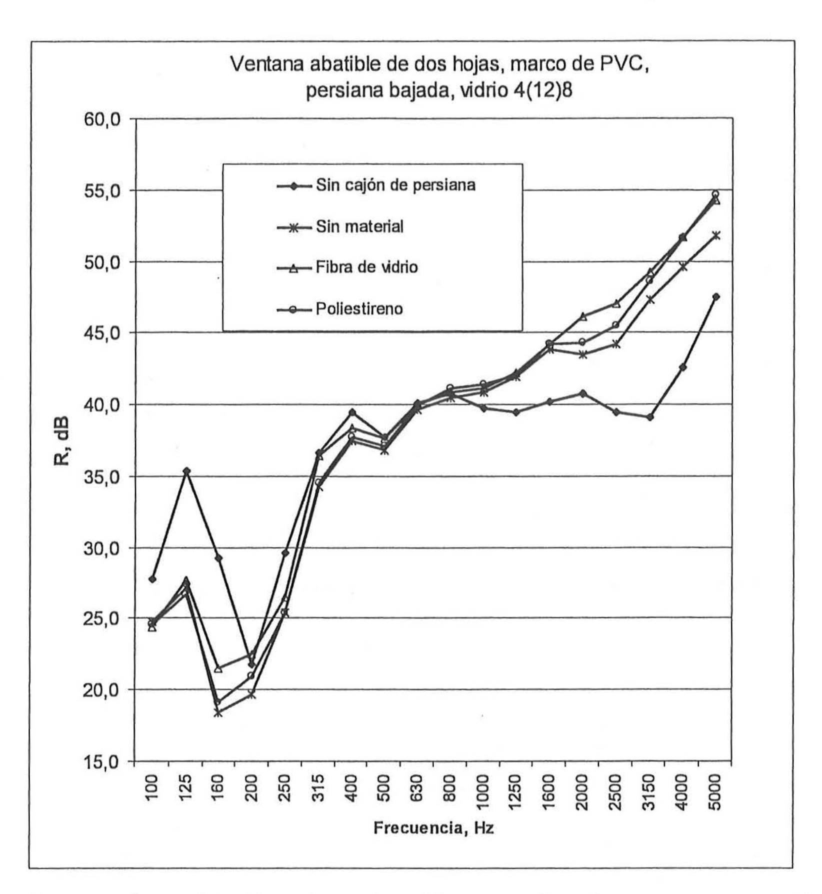


Figura 7.11: Efecto sobre el índice de reducción acústica de una ventana abatible de dos hojas con la persiana bajada, de la colocación o no de material en el cajón.

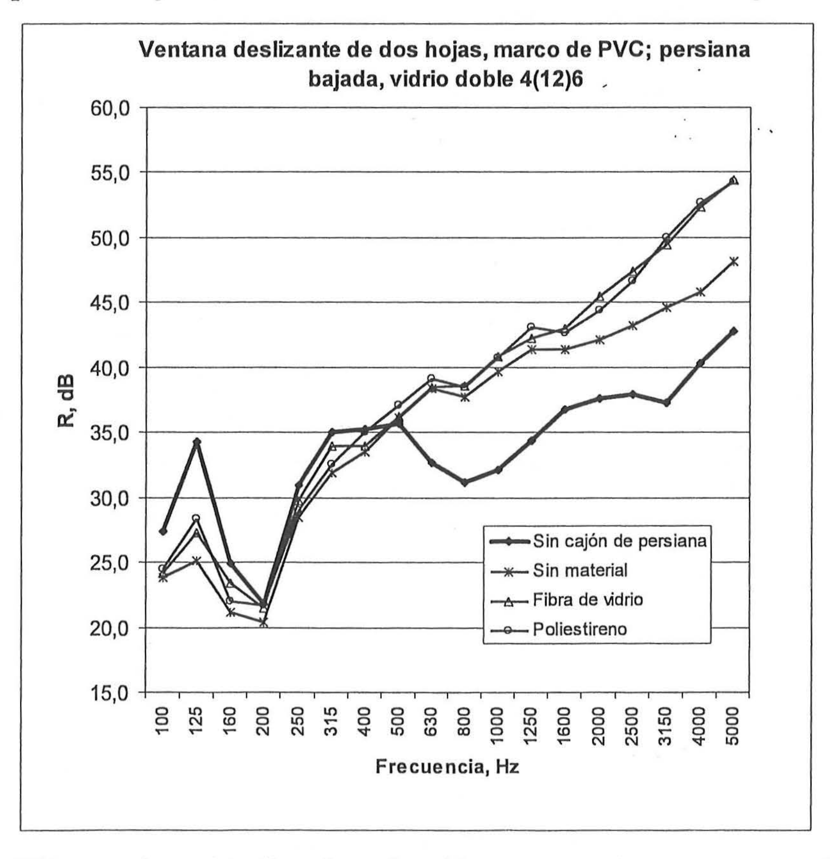


Figura 7.12: Efecto sobre el índice de reducción acústica de una ventana deslizante de dos hojas con la persiana bajada, de la colocación o no de material en el cajón.

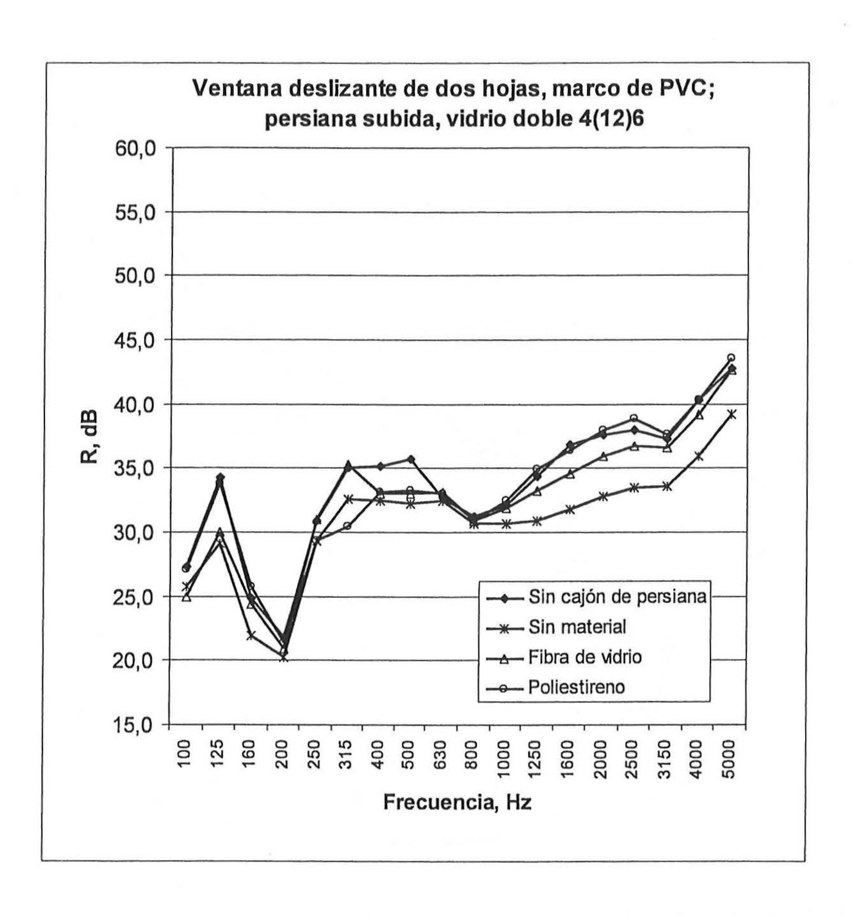


Figura 7.13: Efecto sobre el índice de reducción acústica de una ventana deslizante con la persiana subida, de la colocación o no de material en el cajón.

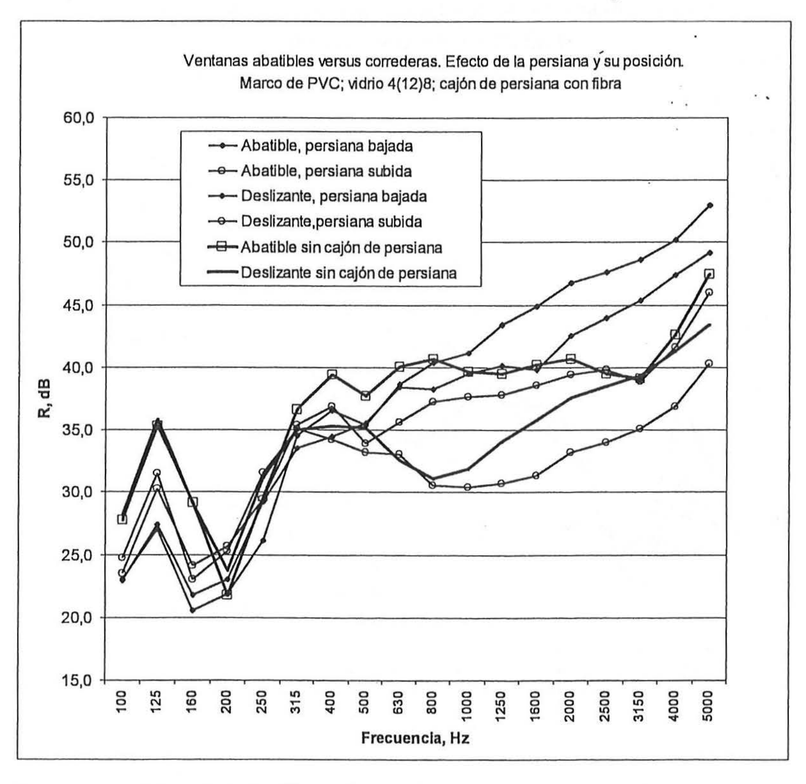


Figura 7.14: Comparación del índice de reducción acústica de ventanas deslizantes y abatibles, con fibra mineral en el cajón de persiana, en diferentes situaciones.

La figura 7.14 muestra los valores del índice de reducción acústica de ventanas deslizantes y abatibles, con fibra mineral en el cajón de persiana con las persianas bajadas y subidas, y ventanas sin cajón de persiana.

En ventanas de buena calidad con vidrios dobles, el índice de reducción acústica ponderado R_w de las ventanas abatibles suele ser 3-4 dB superior al de las ventanas correderas. Pero cuando se calculan los valores globales con el término de adaptación al espectro para ruido de tráfico $R_w + C_{tr}$ las diferencias para los diferentes tipos de ventanas (sin cajón de persiana, con cajón de persiana, con persiana subida o bajada, etc.) se reducen a 2 dB. Esto es debido al efecto de las frecuencias de resonancia de los sistemas masa-aire-masa, que debido a la anchura de la cámara de aire están situadas por debajo de la banda de frecuencia central de 400 Hz, lo que produce una disminución de los valores del índice de reducción acústica en esta región de frecuencias.

La figura 7.15 muestra la diferencia en el índice de reducción acústica de ventanas con las persianas bajadas y subidas. Se observa que a bajas frecuencias el índice de reducción acústica es menor que cuando la persiana está subida, fenómeno típico que se cumple en los sistemas de tres hojas.

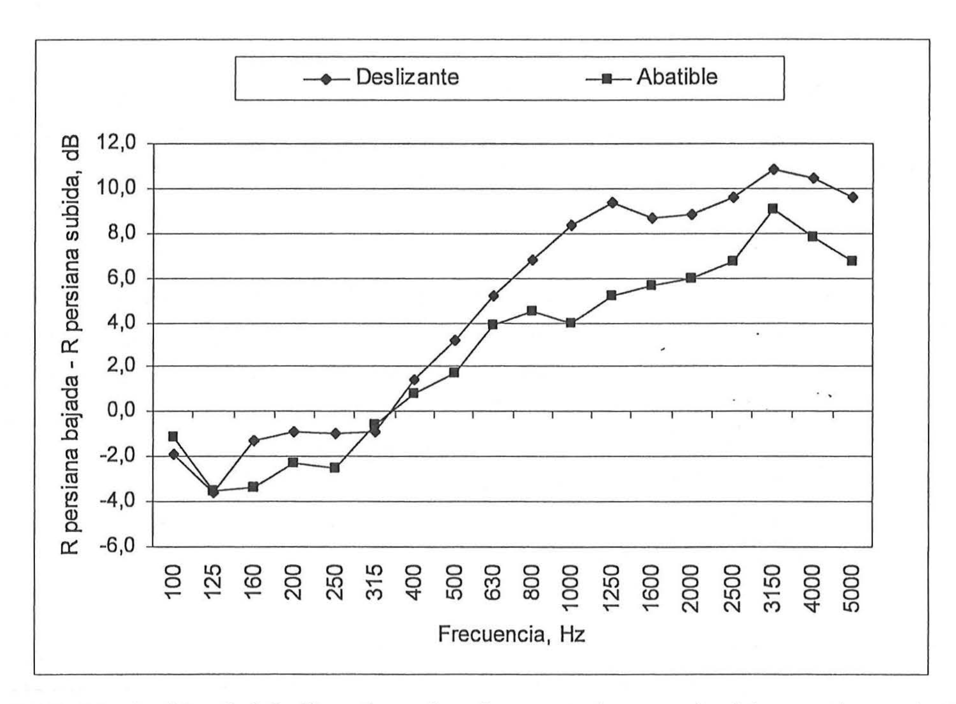


Figura 7.15: Variación del índice de reducción acústica producido por la posición de la persiana.

SOBREACRISTALAMIENTOS

En zonas con elevados niveles de ruido en el exterior se pueden utilizar sobreacristalamientos, figura 7.16. La hoja de ventana está formada por dos hojas que funcionan como una sola, se pueden colocar grandes espesores de cristal y permiten distancias mayores entre los vidrios, 40-50 mm. Es posible la colocación de una veneciana entre los cristales y prescindir del cajón de persiana. Si con el sistema anterior no es suficiente se colocan ventanas dobles.

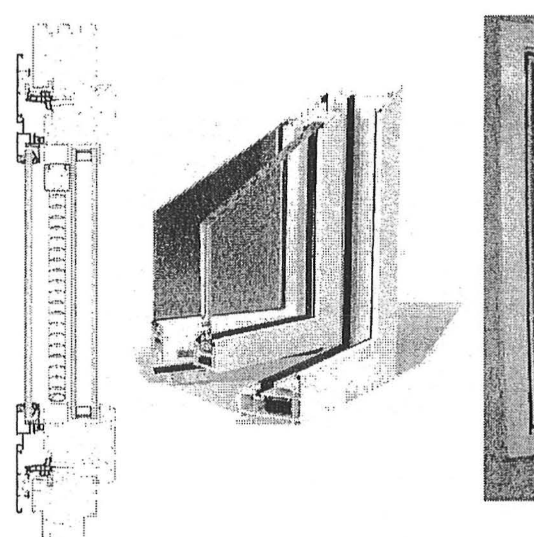
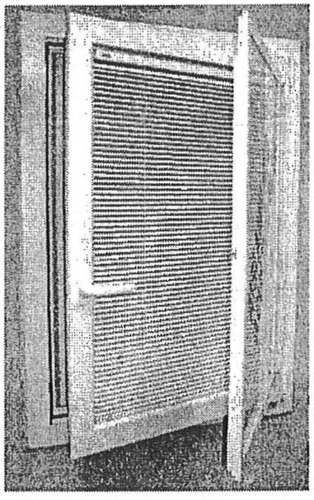
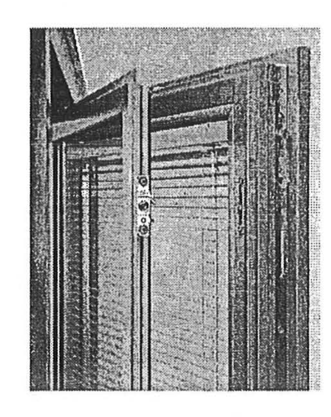




Figura 7.16: Ejemplos de sobreacristalamientos

VENTANAS DOBLES

En zonas muy ruidosas, como por ejemplo en las proximidades de una autopista, aeropuerto, estación de ferrocarril, etc. la colocación de ventanas dobles permite que la fachada tenga un aislamiento a ruido aéreo muy elevado. El índice de reducción acústica de las ventanas dobles se determinará mediante ensayo en el laboratorio.

Las dos ventanas deben tener bastidores independientes. El índice de reducción acústica de la ventana doble dependerá del tipo de acristalamiento, calidad de los bastidores, profundidad de la cámara, (a partir de 5 cm son eficaces, pero se recomienda al menos 10 cm). En algunas situaciones será necesario realizar un tratamiento absorbente acústico en las jambas y dintel del hueco entre los dos bastidores, por ejemplo con lana mineral revestida de una placa metálica perforada, con al menos el 15% de perforaciones. El índice de reducción acústica de la ventana doble no aumenta de forma lineal con la anchura de la cámara, figura 7.17.

El montaje de las dos ventanas debe realizarse con las mismas precauciones que el caso de las ventanas sencillas, pues sino su eficacia se reduce de forma significativa. Las pequeñas fisuras pueden taparse mediante masillas de larga duración que conserve toda su elasticidad, preferentemente con silicona. Si la anchura de la junta es superior a 5 mm, en primer lugar se aplicará material de relleno. Este puede ser espuma sintética, celular y comprimible o un perfil de junta.

En las ventanas dobles para evitar reflejos molestos se suele dar una cierta inclinación a la hoja interior hacia el lado del observador, esto no produce ninguna mejora acústica.

La figura 7.18 muestra los ensayos del índice de reducción acústica en laboratorio de sistemas de tres hojas, uno es un sobreacristalamiento y el otro es una doble ventana. Las ventanas triples, formadas al intercalar un tercer vidrio en una ventana doble, no muestran un índice de reducción acústica mejor que el de las dobles. Presentan un mejor aislamiento a altas frecuencias, pero es inferior a bajas frecuencias debido al efecto de las resonancias del sistema. Por ejemplo para un sistema triple de vidrio 8(150)6(12)4

las frecuencias de resonancia son $f_1 = 88$ Hz y $f_2 = 427$ Hz. El aumento de la masa del vidrio no parece compensar las distancias mas reducidas entre las hojas de vidrio.

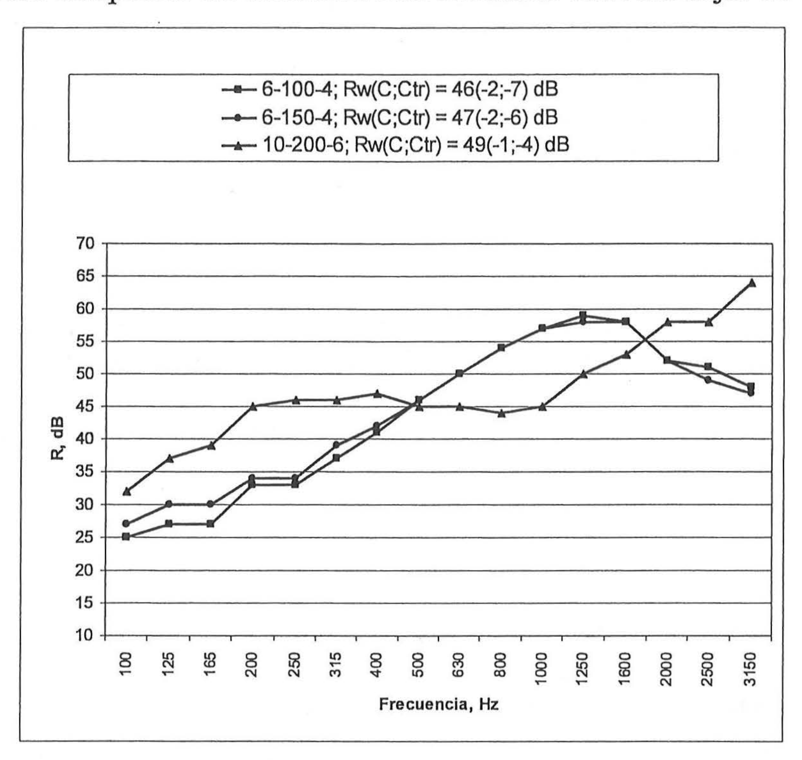


Figura 7.17: Índice de reducción acústica de ventanas dobles.

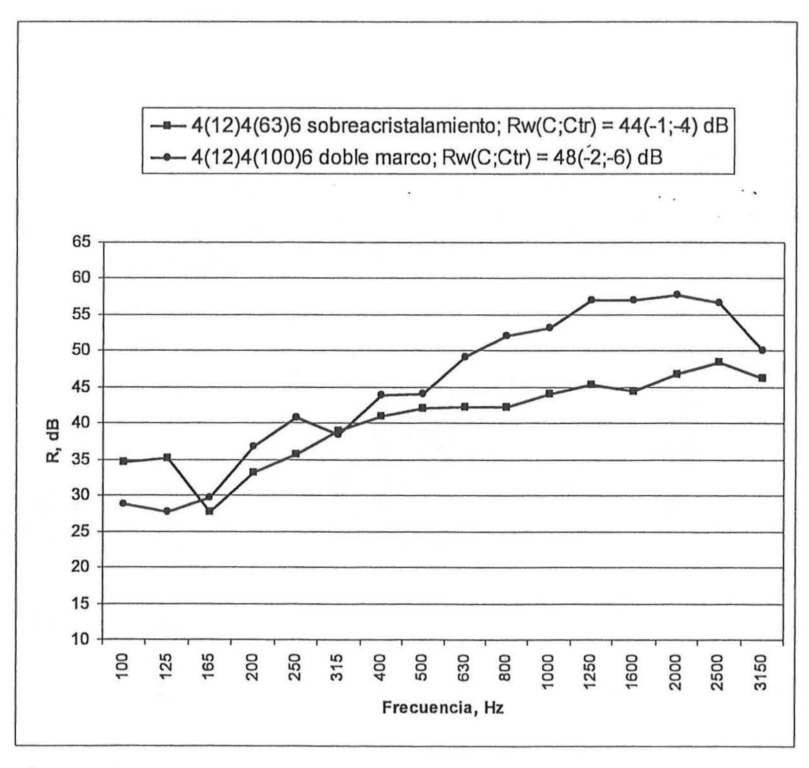


Figura 7.18: Índice de reducción acústica de sistemas de tres hojas, uno es un sobreacristalamiento y el otro es una doble ventana.

En laboratorio con ventanas dobles de una hoja de espesores del vidrio, ventana 1: 10 mm, ventana 2: 8 mm y cámara de 200 mm se han medido índices de reducción acústica $R_{A,tr} = 54$ dB.

ENTRADAS DE AIRE

En algunas zonas muy ruidosas es necesario instalar en los recintos ventanas de Clase 3 o superior y pueden aparecer condensaciones en las superficies interiores de los cerramientos. Por ello será necesario incorporar sistemas de renovación de aire, estudiados acústicamente, de forma que garanticen la adecuada renovación del aire del recinto sin necesidad de abrir la ventana.

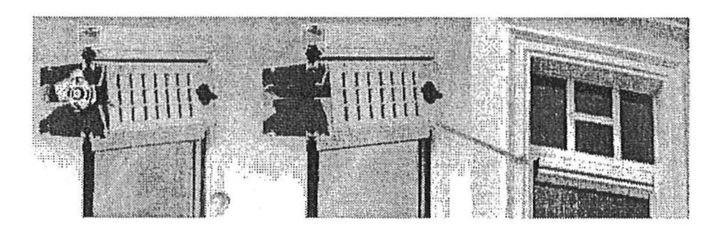
Las entradas de aire situadas en la fachada reducen el aislamiento a ruido aéreo de la fachada. Anteriormente se mostró que la Diferencia de nivel normalizada de un elemento de construcción pequeño, $D_{n,e,}$ tales como dispositivos de ventilación, cajón de persiana, conductos para cableado eléctrico, etc. se determina en laboratorio según los procedimientos de la Norma UNE EN 20140 –10:1994 y se calcula mediante la ecuación (4.18). En el caso de tomas de aire o respiraderos sin tratamiento acústico se puede determinar, considerando que el índice de reducción acústica es 0 dB, mediante la ecuación:

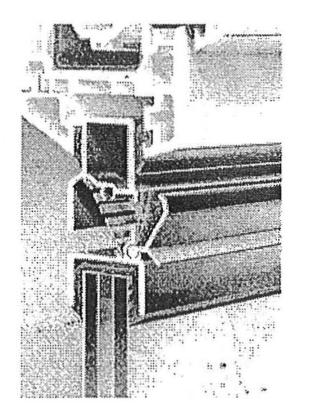
$$D_{n,e} = -10.\lg\left(\frac{S_0}{10}\right) \quad dB \tag{7.2}$$

donde S_0 es el área del respiradero, en m^2.

Para aumentar la Diferencia de nivel normalizada de un elemento de construcción pequeño, $D_{n,e}$ es preciso actuar sobre la longitud del recorrido del aire, que el recorrido sea en línea quebrada y colocar revestimientos absorbentes acústicos en el elemento. En el mercado hay diferentes tipos de rejillas de aire homologadas para ventilación natural o forzada.

Los aireadores son productos industrializados que permiten una aireación dosificada de los locales, sin corrientes de aire, sin necesidad de abrir la ventana. Pueden ser totalmente estancos en la posición de cerrados. Se manipulan mediante una palanca o un botón corredizo desde el interior del recinto. Cada fabricante tiene su diseño particular y debe aportar los resultados del ensayo de laboratorio de la magnitud $D_{n,e,A,tr,}$ Las figuras 7.19 a 7.21 muestran algunos tipos de aireadores.





Área de ventilación	147 - 250 cm^2
Flujo de aire	45 - 81 m^3/h
$D_{n,e,w} + C_{tr}$	35 - 43 dB

Figura 7.19: Ejemplos de aireadores.

La figura 7.20 muestra una ventana de cubierta preparada para la ventilación natural. Flujo de aire de 30 m^3/h, $D_{n,e,w} + C_{tr} = 38$ dB

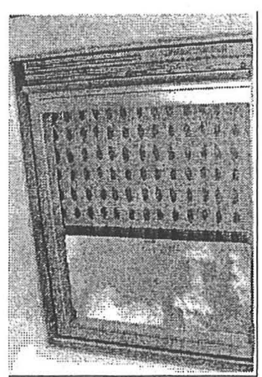
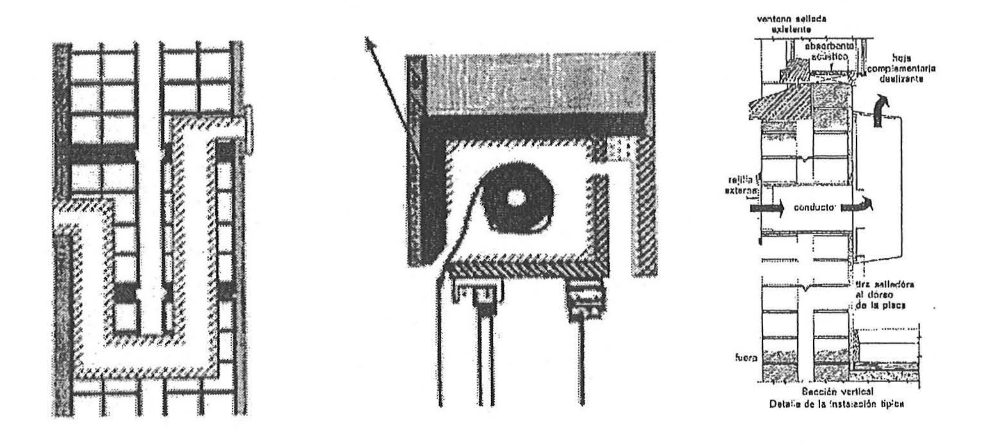


Figura 7.20: Ventana de cubierta de edificio con aireadores.



7.21: Ejemplos de aireadores en el muro de fachada y cajón de persiana.

La figura 7.22 muestra el efecto sobre el índice de reducción acústica de una ventana sin cajón de persiana de la colocación en su marco de aireadores de pequeñas dimensiones (34,2 x 1,2 cm^2) integrados en la carpintería.

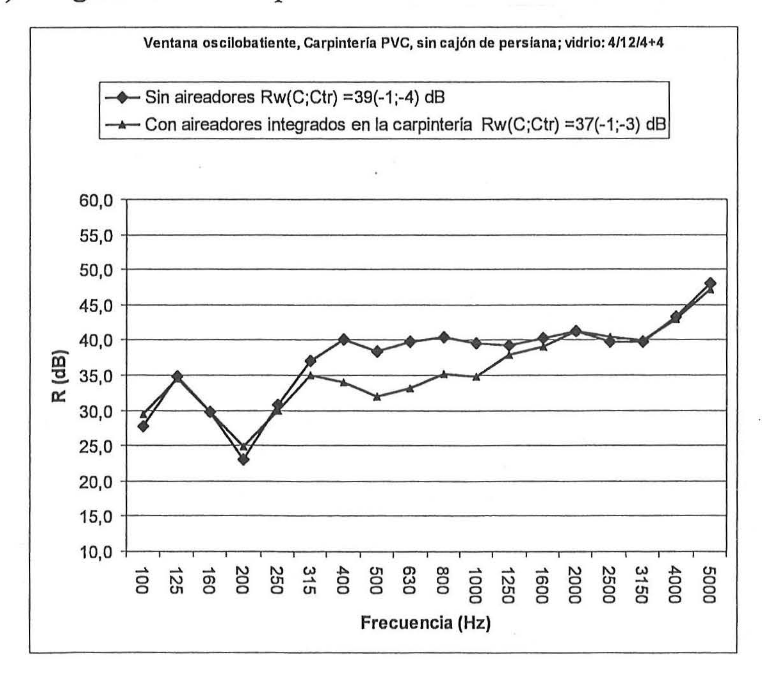


Figura 7.22: Efectos de un aireador integrado en la carpintería de la ventana.

Para la elección de la Diferencia de nivel normalizada $D_{n,e,w} + C_{tr}$ de una entrada de aire en una fachada se puede aplicar el criterio siguiente:

$$D_{n,e,w} > R_{m,w} + 6 \text{ dB}$$

$R_{m,w}$ es el índice ponderado de reducción acústica mixta de la fachada sin entrada de aire. O bien el criterio $D_{n,e,Atr} > R_{m,Atr} + 6$ dB

7.4 ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA DE UNA VENTANA SIN CAJÓN DE PERSIANA A PARTIR DEL ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA DEL VIDRIO

A veces no se conoce el índice de reducción acústica de la ventana pero si el del vidrio, en estos casos se puede hacer una extrapolación del índice $R_w + C_{tr}$ para ventanas sin cajón de persiana basado en el $R_w + C_{tr}$ de los vidrios. En la tabla 7.1 se muestran algunos resultados para ventanas sencillas practicables de Clase $\geq$ 3 y ventanas deslizantes sencillas de Clase $\geq$ 2.

R_w+C_{tr} vidrio aislante [a], dB	Ventanas sencillas [b] ventana, R_w+C_{tr} ,dB	Ventanas deslizantes sencillas [c] ventana, R_w+C_{tr}, dB
24	26	24
25	27	25
26	28	26
27	29	26
28	30	27
30	31	27
32	32	28
34	33	N/A
36	34	N/A

[a] Pruebas de acuerdo con la Norma EN ISO 140-3 (método de referencia) o datos genéricos de acuerdo con la EN 12758 o EN 12354-3.
[b] Ventanas sencillas fijas o practicables (batientes superior/lateral/inferior o pivotantes) cumpliendo permeabilidad al aire Clase 3 o superior.
[c] Ventanas deslizantes sencillas cumpliendo permeabilidad al aire al menos Clase 2

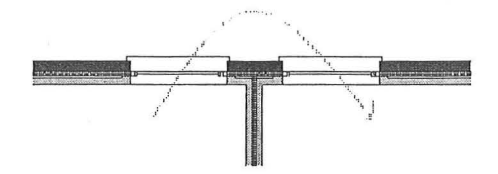
Tabla 7.1: Índice de reducción acústica de una ventana a partir del índice de reducción acústica del vidrio.

7.5 INFLUENCIA DE LAS DIMENSIONES DE LA VENTANA

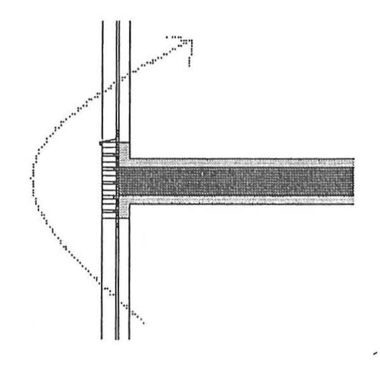
Otro factor a tener en consideración es el tamaño de la ventana, pues cuándo se realizan los ensayos en laboratorio del índice de reducción acústica de una ventana, la muestra ensayada tiene un área aproximada de 1,8 m^2. Si el área total de la ventana es menor de 2,7 m^2 los valores de la tabla anterior del índice global $R_w + C_{tr}$ siguen siendo válidos; si su valor está entre 2,7 m^2 y 3,6 m^2 el valor del índice global de la ventana se disminuye en 1 dB; si está entre 3,6 m^2 y 4,6 m^2 disminuye 2 dB y si es mayor de 4,6 m^2 disminuye en 3 dB. Lo anterior debe considerarse al calcular el índice de reducción acústico mixto de las fachadas.

7.6 TRANSMISIONES A TRAVES DE VENTANAS PRÓXIMAS

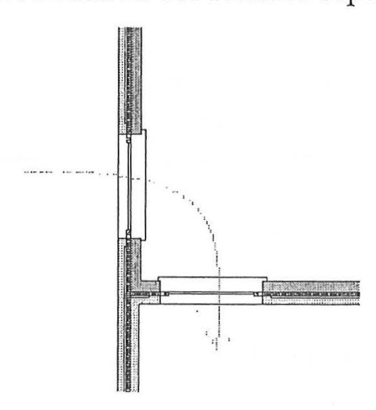
En muchas situaciones las ventanas están próximas unas a otras y si el aislamiento a ruido aéreo de las ventanas es pequeño, el ruido producido en un recinto puede transmitirse a otro a través de las ventanas. Se recomienda que la suma de los índices globales R_A de las ventanas sea al menos 10 dBA superior al índice global de reducción acústica ponderado A de la pared separadora. A continuación se muestran varios ejemplos de situaciones a tener en cuenta.



Vista en planta de dos recintos colindantes



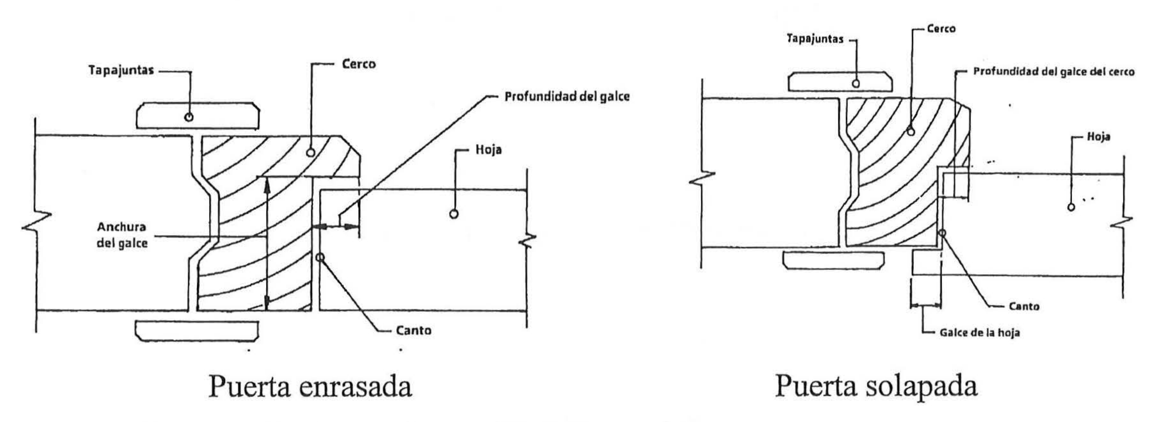
Vista en sección de dos recintos superpuestos.



Vista en planta de dos recintos con las fachadas perpendiculares.

7.7 LAS PUERTAS

Las puertas son aberturas practicadas en un muro o tabique de un recinto y que permite su acceso al mismo. Las puertas se clasifican de diferentes maneras: por su constitución (plana, en relieve, vidriera); por el aspecto de sus caras (para: barnizar, pintar, revestir), por el canto de la hoja (por la forma del canto: enrasada, solapada, resaltada; por la apariencia del canto: visto, oculto), según su colocación (interior; de entrada a piso; exterior; especial), etc.



Puerta enrasada | Puerta solapada

Figura 7.23: Ejemplos de secciones de puertas

La puerta de entrada a una vivienda es a menudo el punto débil del aislamiento acústico a ruido aéreo de las viviendas frente a los ruidos procedentes de las circulaciones comunes en los edificios tales como escaleras, pasillos, ascensores, etc.

Las puertas habituales tienen holguras entre el marco y la hoja de la puerta de varios milímetros y una rendija en la parte inferior que permite su apertura sin rozar con el acabado del suelo. Cuanto mayor sean las holguras menor será el índice de reducción acústica de la puerta.

El aislamiento acústico a ruido aéreo que proporciona una puerta depende del tipo de puerta y de manera muy importante de la estanquidad de las juntas entre el cerco y la puerta. Es necesario que los galces sean lo suficientemente anchos y que la puerta esté bien ajustada para que se apoye bien sobre el cerco. Si el ajuste no es correcto, el añadido de juntas elásticas en el perímetro no es suficiente para la mejora del aislamiento.

En una puerta normal el aumentar el peso de la puerta no aumenta de forma apreciable el índice de reducción acústica de la misma si no se mejora la estanquidad del sistema puerta-cerco.

7.8 AISLAMIENTO ACÚSTICO DE LAS PUERTAS

Las puertas habituales debido a la constitución de la hoja y a la carencia de estanquidad en su perímetro presentan unos índices de reducción acústica R_A que varían de 15 a 25 dBA. Las figuras 7.24 y 7.25 muestran los resultados obtenidos en laboratorio del índice de reducción acústica de puertas de madera maciza y de acero con núcleo hueco. En el caso de la puerta de madera maciza se observa que la mejora de la estanquidad aumenta

el aislamiento a ruido aéreo a altas frecuencias, pero se observa el efecto de coincidencia en la banda de frecuencia central 1 kHz.

Cuando una hoja de una puerta se halla constituida por un solo elemento o por varios unidos entre sí, se comporta aproximadamente como una pared simple, y experimentalmente se encuentra que el índice de reducción acústica es en la práctica independiente de la frecuencia cuando no hay sellados especiales.

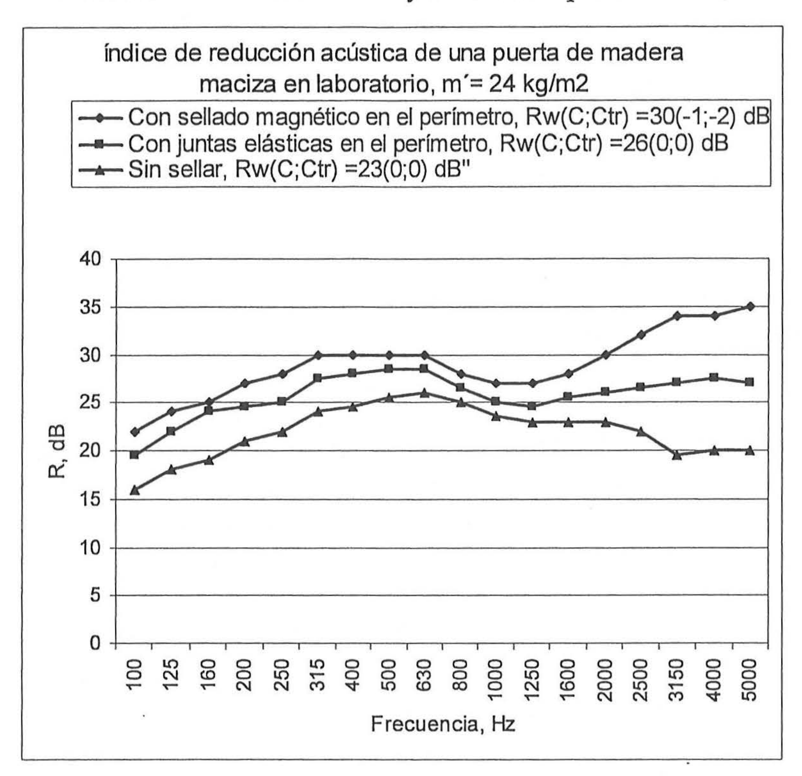


Figura 7.24: Índice de reducción acústica de una puerta de madera maciza e influencia de la mejora de la estanquidad.

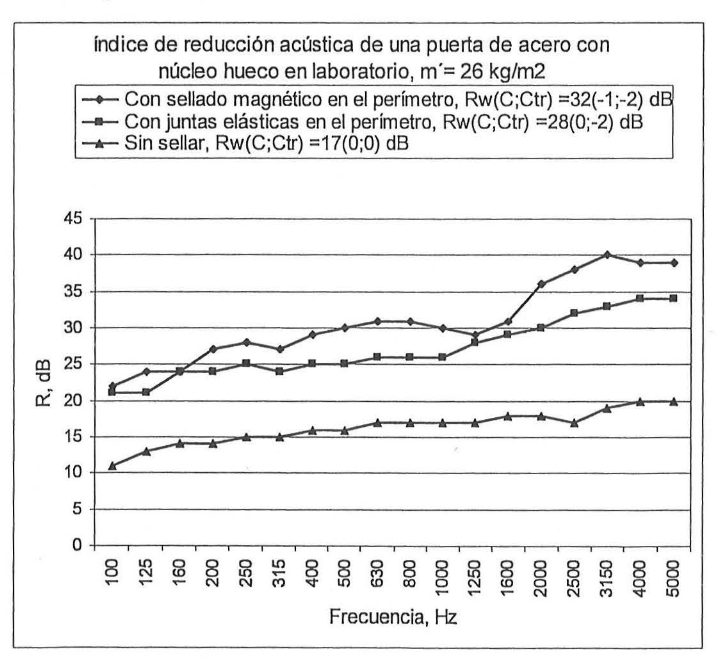


Figura 7.25: Índice de reducción acústica de una puerta de acero con núcleo hueco e influencia de la mejora de la estanquidad

Se proyectan puertas que tengan un índice de reducción acústica más elevado que los expuestos anteriormente, se aconseja buscar la información actualizada en las páginas WEB correspondientes. Para conseguir in situ resultados del índice de reducción acústica de las puertas semejantes a los obtenidos en laboratorio es necesario seguir correctamente las indicaciones de los fabricantes.

Se fabrican puertas de madera para mejorar el aislamiento acústico a base de dos hojas unidas por un mínimo de puntos de sujección, con bastidor de madera o de acero. Se colocan juntas elásticas en todo el perímetro. Con una puerta de 80 mm de espesor se llega a obtener un índice de reducción acústica ponderado R_w = 32 dB. Una puerta especial diseñada acústicamente, de 100 mm de espesor y todo su cerco formando una cámara absorbente puede tener un índice de reducción acústica ponderado R_w de hasta 38 dB.

Como las puertas de madera tienden a alabearse con el tiempo y con las variaciones de la humedad, se recomienda utilizar, para instalaciones importantes, cierres a presión. La puerta cierra en primer lugar con el picaporte normal y después queda sujeta mediante un gatillo.

Cuando se requiere mayor aislamiento acústico se recurre a puertas de acero con bastidor de este mismo metal y juntas elásticas de caucho en todo su contorno. Como estas puertas no suelen deformarse, se consigue mediante el uso de cierres a presión, un sistema duradero y sólido. Una puerta con una hoja de 50 mm de espesor total con dos planchas de acero de espesor 2 mm, y convenientemente ajustada puede alcanzar un índice de reducción acústica ponderado R_w = 45 dB. Estas puertas necesitan umbrales de al menos 25 mm. Existen puertas bien proyectadas acústicamente cuyo índice de reducción acústica ponderado R_w superan los 50 dB

Efecto del umbral de la puerta

En una puerta corriente, hay en general una rendija en la parte inferior de varios milímetros, y cuanto mayor es la anchura del hueco menor es el índice de reducción acústica de la puerta. La supresión de la rendija en el umbral por cualquier procedimiento: burlete de accionamiento automático, umbral recrecido, etc. y la colocación de una junta de espuma de poliuretano, aplastada entre la hoja y el cerco de la puerta, reduce la permeabilidad al aire de la puerta y mejora de manera importante el índice de reducción acústica de la misma.

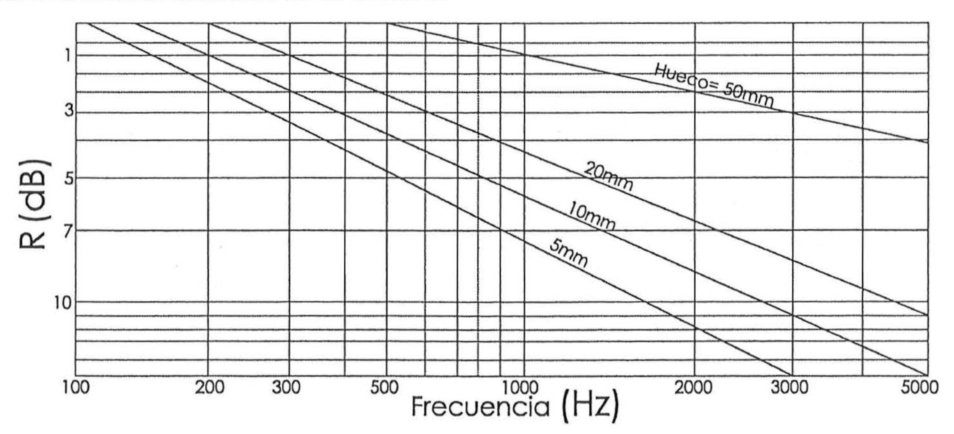


Figura 7.26: Índice de reducción acústica a través de rendijas largas y estrechas.

La eficacia del aislamiento a ruido aéreo de un cerramiento puede verse muy reducida por la presencia de huecos y grietas que permiten el paso del aire. Esto ocurre habitualmente en paneles móviles, tales como las puertas y ventanas, o en la entrada de instalaciones a un recinto. La figura 7.26 [5] muestra el índice de reducción acústica de una rendija en función de la frecuencia y la anchura del hueco de la rendija. Para su aplicación en el caso de una puerta, la anchura efectiva de la rendija es el doble, debido a la reflexión del sonido, al estar la rendija entre una superficie plana y otra superficie plana perpendicular a ella. Sin embargo el área efectiva del hueco no se duplica cuando se calcula el índice de reducción acústica del sistema mixto, formado por la puerta y el hueco del umbral.

Doble puerta

En el caso que se desee un aislamiento acústico más elevado que el de una puerta simple, sin instalar puertas especiales o sin la existencia de un vestíbulo o esclusa acústica, se pueden utilizar una doble puerta. Se suelen utilizar en hoteles como comunicación entre habitaciones adyacentes. La figura 7.27 muestra el índice de reducción acústica de sistemas de doble puerta, una es de madera maciza y la otra es de acero con núcleo hueco, no hay juntas elásticas perimetrales. Se comprueba la variación del índice de reducción acústica cuando el marco es común a las dos puertas, cuando los marcos son diferentes y además existe un tratamiento absorbente en la cavidad entre las puertas.

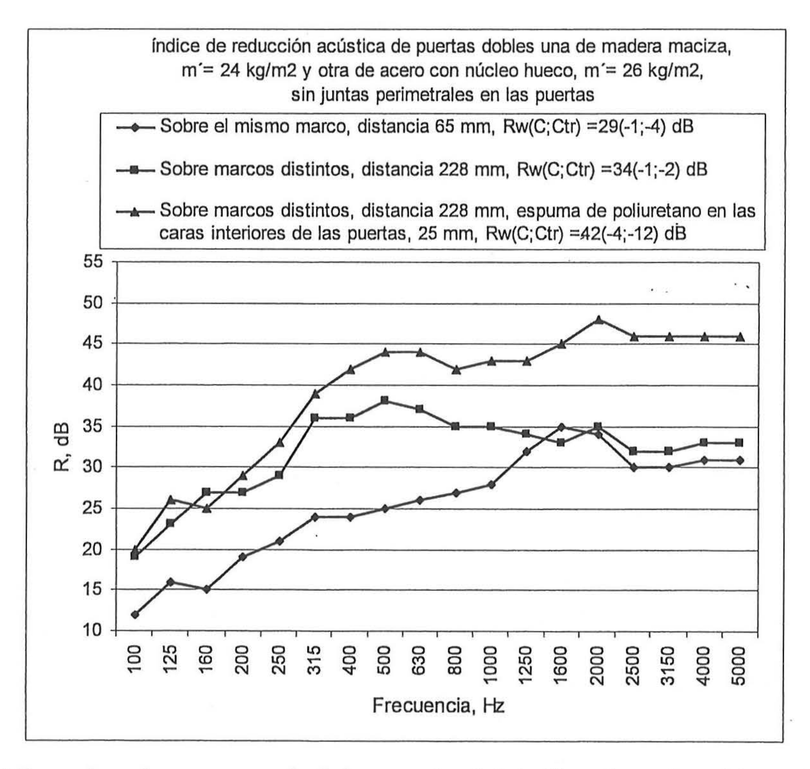


Figura 7.27: Ejemplos de ensayos de laboratorio del índice de reducción acústica de sistemas de doble puerta.

La figura 7.28 muestra un sistema de doble puerta, para aumentar de forma importante el aislamiento acústico del sistema se tiene que cumplir que las dos puertas sean de buena calidad acústica, estén montadas sobre bastidores independientes y con burletes perimetrales; la distancia mínima de separación entre puertas debe ser 10 cm, y se deben recubrir las superficies que delimitan el volumen entre las dos puertas con material absorbente acústico.

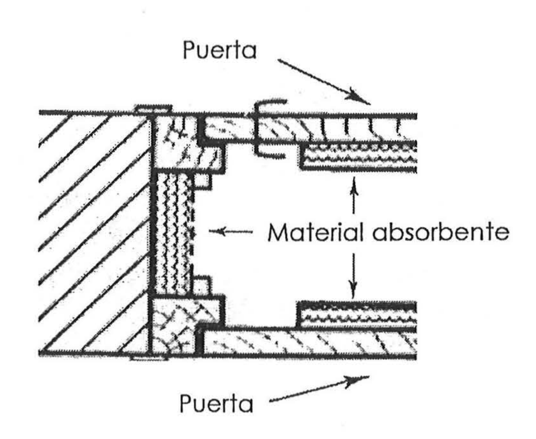
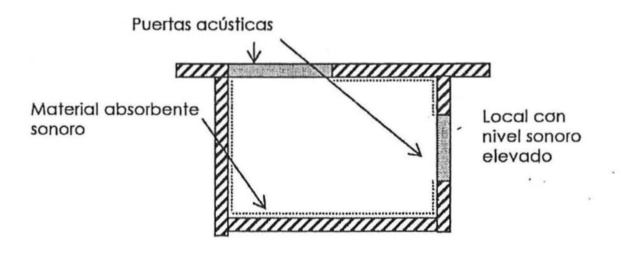


Figura 7.28: Sistema de doble puerta.

Vestíbulo o esclusa acústica

Si es necesario un índice de reducción acústica ponderado superior a 45 dB, hay que recurrir necesariamente a la esclusa acústica. Se llama así a un recinto al que se abren dos puertas. Si el interior del recinto se reviste de material absorbente acústico, se puede conseguir un índice de reducción acústica elevado.



Tipos de puerta	R_w, dB
Simples, ligeras, sin juntas elásticas perimetrales	15-22
Sólidas, pesadas con relleno especial de juntas	25-30
Especiales, estudiadas acústicamente	30-40
Puertas de acero, bien estudiadas acústicamente (dos capas de plancha de acero)	40-50
Dos puertas sencillas con un espacio intermedio	40-45

Tabla 7.2: Valores típicos del índice de reducción acústica de diferentes tipos de puertas.

7.9.- MEJORA DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE UNA PUERTA.

En el caso de puertas ligeras de madera con el núcleo alveolar de nido de abeja, se puede mejorar el índice de reducción acústica, sustituyendo el material alveolar por paneles de yeso laminado. Posteriormente se pueden aplicar las mejoras necesarias que se indican a continuación, generales para cualquier tipo de puerta.

a) Mejora de la estanquidad entre la puerta y el cerco

En primer lugar es necesario que los galces sean o suficientemente anchos y que la puerta esté bien ajustada para que se apoye bien sobre el cerco. Posteriormente, puede mejorarse la estanquidad colocando una junta flexible en el fondo del rebajo, de poliuretano encolado o bien de neopreno. Éstas juntas flexibles son únicamente un complemento de estanquidad y no son suficientes si la puerta no está bien ajustada. No es conveniente que las juntas flexibles sean muy gruesas, o muy duras, pues es necesario el ejercer una presión elevada para aplastarlas, lo cual se traduce en importantes esfuerzos en las bisagras. Estos dispositivos necesitan reemplazarse periódicamente para mantener la eficacia del sellado.

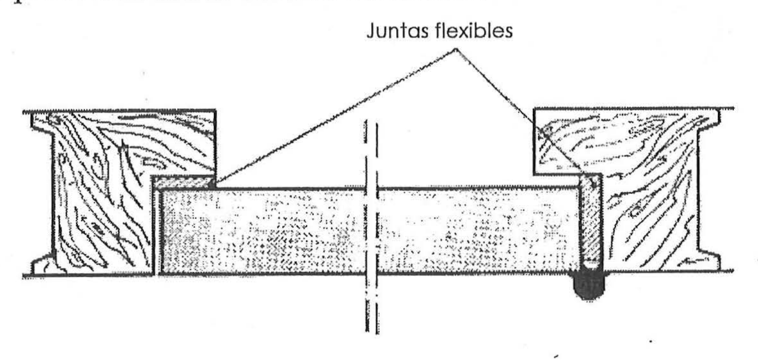


Figura 7.29: Juntas flexibles en el fondo del rebajo de una puerta

b) Problema de la junta entre la puerta y el suelo.

Al no ser aconsejable que la puerta no roce con el revestimiento del suelo, en general existe una separación importante de varios mm. Este problema se puede tratar por diferentes procedimientos: a) colocar un umbral recrecido que puede ser de neopreno o de metal, b) burlete de accionamiento automático intermedio o exterior; c) bisagras helicoidales.

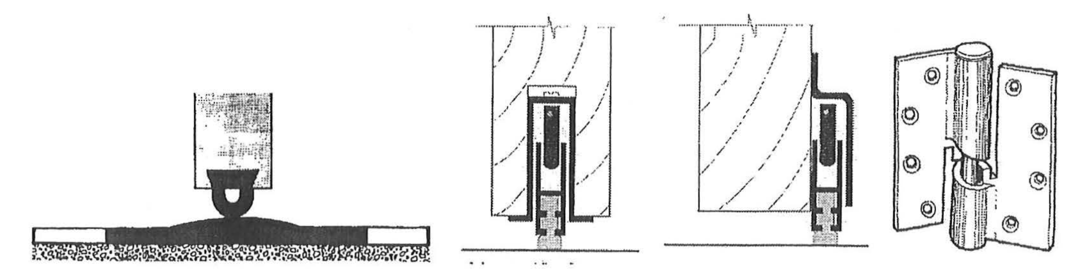


Figura 7.30: Ejemplos de umbral recrecido, burletes de accionamiento automático, bisagras helicoidales.

c) Cerco de la puerta mal ajustado al cerramiento,

Puede ocurrir que al realizar el montaje del precerco de la puerta queden grietas, por mala ejecución o por contracción intempestiva del material, entre este y la pared, o bien holguras entre el cerco y el precerco, que muchas veces se ajustan con cuñas de madera. Se suelen ocultar estos fallos con la colocación de un tapajuntas, que en la mayoría de los casos no es suficiente para mejorar el aislamiento acústico. Es mucho mejor asegurar una ligazón estrecha entre el cerramiento y el cerco, rellenando la junta con las masillas adecuadas.

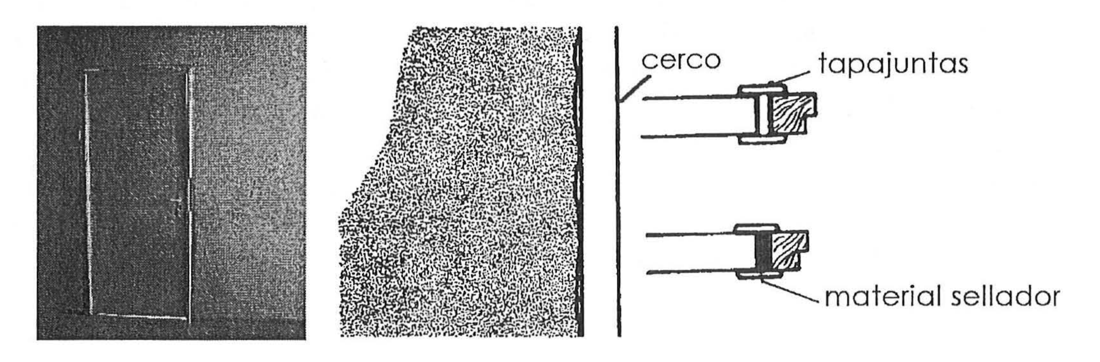


Figura 7.31: Defectos entre el cerco y el cerramiento

Si las mejoras anteriores no son suficientes, es necesario sustituir la puerta por otra más pesada.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Manual de producto, Ventanas (2005). ASEFAVE, Ediciones AENOR.

[2] EN 14351-1.(2006) Windows and pedestrian doorsets- Product standart, performance characteristics- Part 1: Windows and external pedestrian doorsets without resistance to fire and smoke leakage characteristics but including external fire performance for roof windows.

[3] UNE-EN 12207, abril 2000. Puertas y ventanas. Permeabilidad al aire. Clasificación.

[4] Díaz, C; Pedrero, A. An experimental study on the effect of rolling shutter and shutter boxes on the airborne sound insulation of windows. Applied Acoustics. Vol 70 (2009), 369-377.

[5] Bies, D; Hansen, C. (2003) Engineering Noise Control. Theory and Practice. London . Spon Press.

NOTAS

NOTAS

CUADERNO

297.01

cuadernos.ijh@gmail.com
info@mairea-libros.com

